



**Frederico Parente Fragoso**

Licenciado em Ciências da Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

## **Contratos Bilaterais em Mercados de Energia Elétrica Multiagente: Protocolo de Rede de Contratos**

Dissertação para obtenção do Grau de  
Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Fernando Jorge Ferreira Lopes, Doutor, LNEG

Co-orientadora: Anabela Monteiro Gonçalves Pronto,  
Professora Doutora, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Doutor João Miguel Murta Pina

Arguente: Doutor Helder Manuel Ferreira Coelho

Vogal: Doutor Fernando Jorge Ferreira Lopes



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Setembro, 2015**



## **Contratos Bilaterais em Mercados de Energia Elétrica Multiagente: Protocolo de Rede de Contratos**

Copyright © Frederico Parente Fragoso, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.







## AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Professora Doutora Anabela Pronto e Doutor Fernando Lopes, por terem aceito orientar a minha dissertação, por toda a disponibilidade, apoio, sugestões e contributos a nível científico que me permitiram concluir a dissertação.

Ao Engenheiro Paulo Dunões, por me ter recebido na *KERION Ceramics*, por toda a informação e dados disponibilizados que permitiu sustentar o caso de estudo da dissertação.

Ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciência e Tecnologia (FCT), pela formação e conhecimento adquiridos.

Ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), por me ter recebido e disponibilizado as suas instalações na realização da minha dissertação.

Aos meus amigos, que sempre me incentivaram na conclusão da minha dissertação, contribuindo para o sucesso da mesma. À minha namorada, por toda a paciência, compreensão e apoio nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, por me ajudarem a seguir o rumo certo e a quem devo tudo do que sou hoje. À minha avó Fernanda Parente, que teria um enorme orgulho por me poder ver acabar a minha formação académica.





## RESUMO

---

O setor elétrico tem assistido a mudanças profundas na sua estrutura e organização, devido à sua liberalização, o que levou a uma maior competitividade nos mercados de energia elétrica. Uma gestão eficiente dos mercados de energia torna-se cada vez mais uma prioridade devido aos riscos que estes podem apresentar, aliado à elevada volatilidade dos preços e volumes nos diferentes períodos horários (incertezas na produção e consumo). A liberalização do setor elétrico levou à criação de simuladores computacionais com o objetivo de representarem os mercados de energia e as entidades nele representados. Estes são uma ferramenta essencial no apoio e compreensão do funcionamento dos mercados.

A presente dissertação tem como objetivo principal desenvolver um simulador de apoio à decisão na negociação de contratos bilaterais baseado no protocolo de rede de contratos. O simulador foi analisado e testado com recurso a um caso prático envolvendo quatro comercializadores (retalhistas) e um consumidor industrial real (fábrica *KERION Ceramics*) do distrito de Aveiro. Foi efetuada uma análise à fábrica com o intuito de identificar e propor medidas de eficiência energética. Foi também simulada a negociação de um novo contrato, com vista à redução dos custos energéticos da fábrica. Os resultados obtidos permitem concluir que o simulador desenvolvido é uma ferramenta importante no apoio à negociação de contratos bilaterais e, mais importante, que o consumidor industrial *KERION Ceramics* pode beneficiar com a negociação de um novo contrato.

**Palavras-chave:** Mercado de eletricidade liberalizado, Contratação bilateral de energia, Sistemas multiagente, Protocolo de rede de contratos, Estratégias de negociação. ...

---



## ABSTRACT

---

The electric sector has witnessed profound changes in its structure and organization due to its liberalization, which led to strong competitiveness in the electric energy market. An efficient energy market management is of increasing paramount importance, in view of the risks it comprises, combined with price volatility across the various daily periods and with the energy volumes (uncertainties in both the production and the consumption). The electric sector liberalization has led to the creation of computer-based simulations aiming the simulation of energy markets and the entities playing a role in it. These are essential tools to understand markets and to support decision-making processes.

This thesis addresses the development of a simulator that supports negotiation of a bilateral contract based on a contract network protocol. This simulator was analyzed and tested using a practical case involving four energy retailers and an industrial consumer (*KERION Ceramics* Factory) in Aveiro. An analysis to the factory was made with the purpose of identifying and proposing measures of energetic efficiency. It was also simulated a new contract negotiation engaging factory's costs reduction. The results obtained concludes the developed simulator is an important tool on the bilateral contract negotiation, and more importantly it benefits the industrial consumer *KERION Ceramics* with new contract negotiation.

**Keywords:** Liberalized electricity market, , Bilateral energy contracts, Multi-agent systems simulator, Contract Net Protocol, Negotiation strategies, . . .

---



# CONTEÚDO

<b>Lista de Figuras</b>	<b>xv</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xvii</b>
<b>Listings</b>	<b>xix</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento . . . . .	1
1.2 Motivações . . . . .	2
1.3 Objetivos . . . . .	2
1.3.1 Contribuições . . . . .	3
1.4 Estrutura . . . . .	3
<b>2 Mercados de Energia</b>	<b>5</b>
2.1 Liberalização do Setor Elétrico em Portugal . . . . .	5
2.2 Mercado Ibérico de Eletricidade . . . . .	7
2.3 Estrutura do Mercado Ibérico . . . . .	8
2.3.1 Mercado Diário . . . . .	8
2.3.2 Mercado Intradiário . . . . .	9
2.3.3 Contratos Bilaterais . . . . .	10
2.4 Conclusão . . . . .	13
<b>3 Sistemas Multiagentes</b>	<b>15</b>
3.1 Introdução . . . . .	15
3.2 Sistemas Multiagente . . . . .	15
3.2.1 Agentes autónomos . . . . .	16
3.2.2 Negociação entre Agentes Autónomos . . . . .	18
3.2.3 Plataformas Computacionais para Sistemas Multiagente . . . . .	19
3.3 Principais Simuladores de Mercados Elétricos . . . . .	21
3.3.1 EMCAS . . . . .	21
3.3.2 MASCEM . . . . .	22
3.3.3 SCBE . . . . .	22
3.4 Conclusão . . . . .	23

<b>4</b>	<b>Protocolos e Estratégias</b>	<b>25</b>
4.1	Introdução . . . . .	25
4.2	Negociação de Rede de Contratos . . . . .	25
4.2.1	Protocolo de Rede de Contratos . . . . .	26
4.2.2	Protocolo Interativo de Rede de Contratos . . . . .	28
4.3	Estratégias de negociação . . . . .	29
4.3.1	Estratégia do Consumidor: Estratégia de Corte . . . . .	30
4.3.2	Estratégia dos Comercializadores: Estratégia de Concessão Baseada no Volume de Energia . . . . .	31
4.4	Conclusão . . . . .	34
<b>5</b>	<b>Caso de estudo</b>	<b>35</b>
5.1	Introdução . . . . .	35
5.2	SMCBE: Simulador Multiagente de Contratos Bilaterais de Energia . . . .	35
5.2.1	Interface Gráfica . . . . .	36
5.3	Descrição da Fábrica <i>KERION Ceramics</i> . . . . .	41
5.4	Perfil de Consumo . . . . .	44
5.5	Análise dos Resultados do Caso de Estudo . . . . .	46
5.5.1	Preços e Volumes . . . . .	47
5.5.2	Resultados finais . . . . .	49
5.6	Conclusão . . . . .	52
<b>6</b>	<b>Conclusões</b>	<b>55</b>
6.1	Síntese de resultados . . . . .	55
6.2	Trabalho futuro . . . . .	56
	<b>Bibliografia</b>	<b>59</b>
<b>A</b>	<b>Anexos</b>	<b>61</b>
A.1	Períodos Média Tensão . . . . .	61
A.2	Consumo energia elétrica do ano 2014 da <i>KERION Ceramics</i> . . . . .	62
A.3	Fatura da energia elétrica do ano 2014 da <i>KERION Ceramics</i> . . . . .	63
A.4	Taxas de acesso à rede em Média Tensão . . . . .	64

## LISTA DE FIGURAS

2.1	Fases de abertura do mercado de energia elétrica por tipo de consumidor [7] .	6
2.2	Cadeia de valor da energia elétrica no regime de mercado liberalizado [5] . .	7
2.3	Esquema organizativo do operador de Mercado Ibérico [4] . . . . .	8
2.4	Funcionamento do mercado diário [8] . . . . .	9
2.5	Sessões do Mercado Intradiário [8] . . . . .	10
2.6	Contratação bilateral versus mercados organizados em 2014 (MIBEL) . . . . .	11
2.7	Importância dos mercados em 2014 . . . . .	12
2.8	Contratação bilateral no MIBEL, mercado português e espanhol . . . . .	13
3.1	Agente autónomo interagindo com o ambiente . . . . .	17
3.2	Estrutura do processo negocial [14] . . . . .	19
3.3	Estrutura da plataforma computacional JADE [jade] . . . . .	20
4.1	Diagrama do protocolo de rede de contratos . . . . .	26
4.2	Diagrama do protocolo de rede de contratos [10] . . . . .	27
4.3	Diagrama do protocolo iterativo de rede de contratos [10] . . . . .	28
4.4	Representação de Cf (períodos de ponta e cheia) para diferentes valores de $\varepsilon$	32
4.5	Representação de Cf (períodos de vazio normal e super vazio) para diferentes valores de $\varepsilon_2$ . . . . .	33
5.1	Janela com informação do agente consumidor . . . . .	36
5.2	Ambiente gráfico do simulador . . . . .	37
5.3	Janelas referentes aos agentes comercializadores e ao agente consumidor . . .	38
5.4	Janelas referentes ao perfil de consumo do agente consumidor e aos preços iniciais dos agentes comercializadores . . . . .	38
5.5	Janela referente à pré-negociação ( <i>Define targets</i> ) . . . . .	39
5.6	Janela referente à pré-negociação ( <i>Define limits</i> ) . . . . .	39
5.7	Janela referente à pré-negociação ( <i>Define Preferences and Strategies</i> ) . . . . .	40
5.8	Janela referente à definição do prazo negocial . . . . .	40
5.9	Vista exterior da <i>KERION Ceramics</i> . . . . .	41
5.10	Material produzido na <i>KERION Ceramics</i> . . . . .	42
5.11	Planta da fábrica <i>KERION Ceramics</i> . . . . .	43
5.12	Perfil de consumo de 2014 da fábrica <i>KERION Ceramics</i> . . . . .	44

5.13 Perfil de Consumo de 2014 por período da <i>KERION Ceramics</i> . . . . .	45
5.14 Perfil de consumo de 2014 da <i>KERION Ceramics</i> , por tipo de equipamento elétrico em cada período . . . . .	45
5.15 Esquema de negociação do caso de estudo . . . . .	47
5.16 Esquema de negociação do caso de estudo . . . . .	51



## LISTA DE TABELAS

5.1	Descrição da planta da fábrica . . . . .	42
5.2	Tarifas e consumos por período no ano de 2014 . . . . .	46
5.3	Custo dos diversos tipos de consumo em 2014 . . . . .	46
5.4	Valores iniciais da <i>KERION Ceramics</i> . . . . .	48
5.5	Preços iniciais e limites mínimos do Comercializador 1 e Comercializador 2 .	49
5.6	Preços iniciais e limites mínimos do Comercializador 3 e Comercializador 4 .	49
5.7	Comparação entre a tarifa de referência e a tarifa do novo contrato com o Comercializador 4 . . . . .	51
5.8	Comparação entre o custo no antigo contrato com o novo . . . . .	52



## LISTINGS



## GLOSSÁRIO

**EMCAS** *Electric Market Complex Adaptive System.*

**FIPA** *Foundations for Intelligent Physical Agents.*

**ISEL** Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

**JATLite** *Java Agent Template Lite.*

**LGPL** *Lesser General Public Licence, Version 2.*

**LNEG** Laboratório Nacional de Energia e Geologia.

**MIBEL** Mercado Ibérico de Eletricidade.

**OAA** *Open Agent Architecture.*

**SCBE** Simulador de Contratos Bilaterais de Energia.

**SMA** Sistemas Multiagente.

**SMCBE** Simulador Multiagente de Contrato Bilateral de Energia.



## INTRODUÇÃO

### 1.1 Enquadramento

A temática da liberalização do mercado energético tem cada vez mais um papel fundamental no setor energético, afetando não apenas o cliente, mas toda a cadeia da rede elétrica, desde a produção até à comercialização junto do cliente final (independentemente de se tratar de um cliente doméstico ou consumidor industrial).

O fenómeno da liberalização do setor energético não é exclusivo a Portugal, mas um processo que tem vindo a ocorrer em vários países da União Europeia (Reino Unido, Países Nórdicos, Espanha, Portugal, etc.) e do mundo. Para as empresas comercializadoras de energia elétrica a liberalização do setor implica uma nova abordagem perante os consumidores e concorrentes, sendo necessária uma compreensão extensiva e abrangente dos efeitos no mercado. No mercado liberalizado as empresas comercializadoras podem concorrer livremente em termos de preços e de condições comerciais oferecidas, de acordo com as regras da concorrência, a lei geral e os regulamentos aplicáveis.

De notar, que o processo de liberalização do mercado apenas está relacionado essencialmente com a atividade de comercialização. Tal como acontecia anteriormente, o transporte e a distribuição de energia elétrica são atividades exercidas em regime de serviço público e em exclusivo, devido à sua natureza de monopólios naturais. Contudo, nessas atividades é permitido o acesso à rede por terceiros em condições de transparência com o intuito de não haver qualquer tipo de discriminação, sendo esta controlada por uma entidade reguladora.

Os desafios que se colocam com a liberalização do mercado de eletricidade em Portugal exigem que os consumidores tenham um papel ativo, com o objetivo de escolher o comercializador que satisfaça os seus objetivos. Logo, os comercializadores de energia elétrica têm de se adaptar às necessidades dos consumidores, visto que a concorrência é cada vez mais elevada.

### 1.2 Motivações

O mercado interno da eletricidade, que tem sido progressivamente realizado na Comunidade desde 1999, visa proporcionar uma possibilidade real de escolha a todos os consumidores da União Europeia, sejam eles cidadãos ou empresas, criar novas oportunidades de negócio e intensificar o comércio transfronteiriço, de modo a assegurar ganhos de eficiência, preços competitivos e padrões de serviço mais elevados e a contribuir para a segurança do fornecimento e a sustentabilidade [23].

Pode-se afirmar que a evolução do processo de liberalização do mercado da eletricidade coloca novos desafios às entidades envolvidas, quer seja pela complexidade das questões inerentes à produção, transporte, distribuição e comercialização de energia, quer pela posição dos consumidores perante o mercado.

Todas estas características motivaram o desenvolvimento de ferramentas de apoio à decisão nos seguintes mercados de energia: bolsa, contratos bilaterais e/ou misto. O comportamento das entidades participantes no mercado baseia-se normalmente em estratégias para definição de preços e quantidades de energia a transacionar.

Neste sentido, aproveitando estas iniciativas e o leque de soluções que nelas foram desenhadas com vista a potenciar estratégias e protocolos de negociação, o presente trabalho tem como proposta analisar, implementar e discutir o processo de negociação baseado no protocolo de rede de contratos (*Contract Net Protocol*) usando a tecnologia baseada em agentes inteligentes.

### 1.3 Objetivos

A presente dissertação pretende tirar partido das potencialidades dos sistemas multiagentes (SMA) no mercado de eletricidade, com particular enfoque na contratação bilateral.

A dissertação envolve vários objetivos, sendo de realçar os seguintes:

- Estudo do simulador multiagente MAN-REM, que permite aos agentes de mercado negociarem contratos bilaterais [13] [11], transacionarem energia no mercado em bolsa [25], gerirem o risco através de transações no mercado a prazo e alienaram-se em coligações para oferecerem preços mais competitivos [22] [1];



- Estudo da dinâmica da contratação bilateral de eletricidade, com particular destaque para a negociação entre agentes compradores e vendedores de energia;
- Estudo do protocolo de rede de contratos envolvendo várias iterações sucessivas;
- Implementação do protocolo de rede de contratos no Simulador Multiagente de Contrato Bilateral de Energia (SMCBE);
- Estudo detalhado de um caso prático relativo a um mercado de retalho, envolvendo a negociação de um contrato bilateral entre quatro comercializadores e um consumidor industrial (fábrica *KERION Ceramics*) de energia. A fábrica sediada no concelho de Aveiro disponibilizou os dados tarifários bem como todos os dados relativos às suas instalações.

### 1.3.1 Contribuições

A presente dissertação vem no seguimento de outras dissertações realizadas no âmbito do projeto MAN-REM - Negociação Multi-agente e Gestão de Risco em Mercados de Energia Elétrica, que envolve o desenvolvimento de um simulador multiagente para a contratação bilateral <sup>1</sup>.

A dissertação apresenta várias contribuições, sendo de realçar as seguintes:

- Estudo de uma nova modalidade de contratação bilateral: protocolo de rede de contratos. O trabalho realizado teve como finalidade compreender a importância deste protocolo na negociação envolvendo vários agentes no mercado de eletricidade;
- Implementação do protocolo de rede de contrato no simulador SMCBE. Este simulador permite ao utilizador dispor de uma nova opção no que diz respeito aos contratos bilaterais de energia. O SMCBE (Simulador Multiagente de Contratos Bilaterais de Energia) levou à reestruturação da estratégia de concessão baseada nos volumes de energia;
- Desenvolvimento de um caso de estudo real, permitindo testar o protocolo de rede de contratos na contratação bilateral de energia.

## 1.4 Estrutura

A presente dissertação divide-se em seis capítulos.

---

<sup>1</sup>Trabalho realizado no âmbito do projeto MAN-REM (FCOMP-01-0124-FEDER-020397), financiado pelo FEDER através do programa COMPETE- Programa Operacional Temático Factores de Competitividade, e pela FCT- Fundação para a Ciência e Tecnologia

O segundo capítulo descreve o processo de liberalização do setor elétrico em Portugal, apresentando as várias etapas que permitiram o seu sucesso. Neste capítulo também é descrito o funcionamento, a estrutura e os objetivos do Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL). É realizada uma análise da estrutura do mercado de energia, com principal incidência para os mercado diário, mercado intradiário e contratos bilaterais.

O terceiro capítulo descreve os Sistemas Multiagente (SMA) e os agentes autónomos computacionais realçando o processo de negociação entre estes agentes e as plataformas computacionais existentes. Também são descritos os principais simuladores multiagentes de mercados de eletricidade e realizada uma análise dos mesmos.

O quarto capítulo descreve o processo de negociação do protocolo de rede de contratos (*The Contract Net Protocol*), com principal foco no protocolo da *Foundations for Intelligent Physical Agents* (FIPA). Efetua-se uma análise às estratégias de negociação utilizadas no caso de estudo.

O quinto capítulo descreve a aplicação do simulador SMCBE a um caso de estudo, que envolve a negociação de tarifas para quatro períodos horários, entre um consumidor industrial (fábrica *KERION Ceramics*) e quatro comercializadores de energia, com o objetivo de celebrar um novo contrato bilateral. Descreve-se também o funcionamento e o perfil de consumo do consumidor industrial, bem como o modelo e as estratégias de negociação dos cinco agentes envolvidos .

O sexto capítulo apresenta as conclusões da presente dissertação, sendo realizada uma síntese de resultados e apresentadas algumas propostas que poderão ser alvo de trabalho futuro.

## MERCADOS DE ENERGIA

### 2.1 Liberalização do Setor Elétrico em Portugal

O processo de liberalização dos setores elétricos da maior parte dos países europeus foi efetuado de forma faseada, tendo começado por incluir os clientes de maior consumo e níveis de tensão mais elevados [5]. Em Portugal Continental, seguiu-se uma metodologia idêntica, tendo a abertura de mercado sido efetuada de forma progressiva. A abertura do mercado iniciou-se em 1995 para os grandes consumidores industriais, tendo sido sucessivamente alargada aos restantes consumidores.

A 4 de setembro de 2006, concretizou-se a última etapa da liberalização do mercado de eletricidade, a partir da qual os cerca de seis milhões de clientes passaram a poder escolher o seu fornecedor de energia elétrica. Esta data antecipou o cumprimento da Diretiva n.º 2003/54/CE, que estabelecia que a partir de 1 de julho de 2007 todos os clientes de energia elétrica poderiam escolher livremente o seu fornecedor.

Atualmente, em Portugal Continental coexiste em simultâneo o mercado livre e o mercado regulado, podendo todos os clientes negociarem os seus contratos de energia com um comercializador do mercado livre ou permanecerem no mercado regulado.

Com a publicação do Decreto-Lei n.º 75/2012, concretizou-se o calendário para a extinção das tarifas reguladas de venda de eletricidade a clientes finais em baixa tensão normal (BTN) no território nacional.



Figura 2.1: Fases de abertura do mercado de energia elétrica por tipo de consumidor [7]

Este calendário prevê dois momentos distintos para a extinção das tarifas de fornecimento a estes consumidores. A primeira fase de extinção das tarifas reguladas de venda de eletricidade aos clientes em BTN concretizou-se a 1 de julho de 2012 para os consumidores com uma potência contratada igual ou superior a 10,35 kVA. A partir desta data, a contratação do fornecimento de eletricidade passou apenas a ser possível com um comercializador em regime de mercado. A segunda fase, para clientes em BTN com uma potência contratada inferior a 10,35 kVA, teve início a 1 de janeiro de 2013.

Os consumidores terão até ao final do respetivo período transitório de cessar o contrato com o seu fornecedor atual – EDP Serviço Universal ou Cooperativas de Eletricidade – que apenas manterá a sua atividade enquanto comercializador de último recurso, para garantir o fornecimento em casos especiais (consumidores economicamente vulneráveis). Associada à liberalização e à construção do mercado interno de eletricidade está um aumento esperado da concorrência, com reflexos ao nível dos preços e da melhoria da qualidade de serviço, a que deverá corresponder uma maior satisfação dos consumidores de energia elétrica. Independentemente de se tratar do regime de mercado liberalizado ou regulado, a cadeia de valor do mercado de eletricidade pode ser decomposta em três etapas principais [6]:

- Produção
- Transporte/Distribuição
- Comercialização

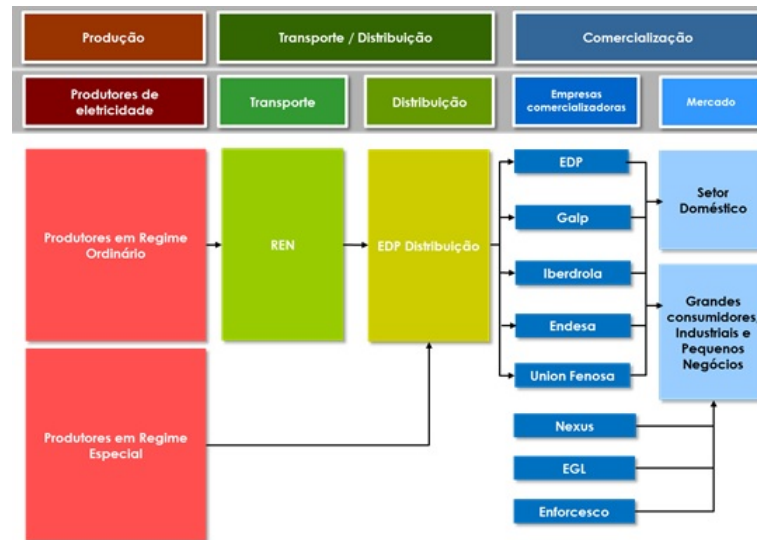


Figura 2.2: Cadeia de valor da energia elétrica no regime de mercado liberalizado [5]

## 2.2 Mercado Ibérico de Eletricidade

A fusão dos mercados de energia elétrica entre Portugal e Espanha originou o MIBEL. A união consistiu numa iniciativa conjunta dos governos de Portugal e Espanha em criar um mercado regional de energia elétrica. Consequentemente, teve um contributo significativo não só para a concretização do mercado de energia elétrica a nível Ibérico, como à escala europeia [17].

Com a concretização do MIBEL passou a ser possível a qualquer consumidor no espaço Ibérico adquirir energia elétrica num regime de livre concorrência. Por sua vez, a criação do MIBEL também teve como o objetivo permitir um conjunto de benefícios para os intervenientes, sendo de realçar os seguintes [17]:

- Beneficiar os consumidores de eletricidade dos dois países, através do processo de integração dos respetivos sistemas elétricos;
- Garantir um funcionamento do mercado, suportado nos princípios da transparência, livre concorrência, objetividade, liquidez, autofinanciamento e auto-organização;
- Favorecer o desenvolvimento do mercado de eletricidade de ambos os países, com a existência de uma metodologia única e integrada de definição de preços de referência para toda a Península Ibérica;
- Permitir a todos os participantes o livre acesso ao mercado, em condições de igualdade de direitos, obrigações, transparência e objetividade;
- Favorecer a eficiência económica das empresas do setor elétrico, promovendo a livre concorrência entre as mesmas [17].

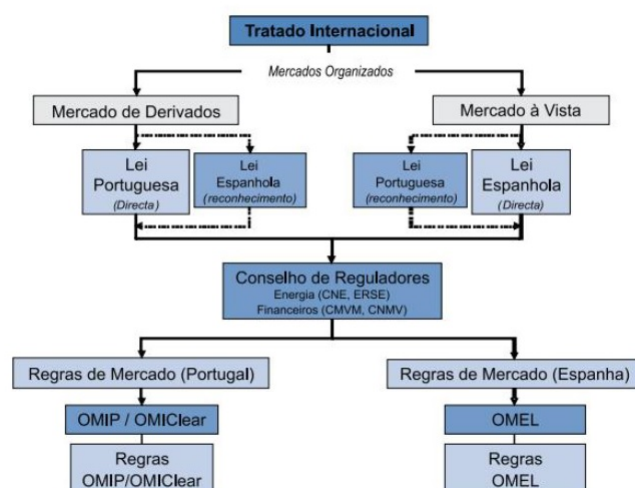


Figura 2.3: Esquema organizativo do operador de Mercado Ibérico [4]

Os mercados organizados do MIBEL funcionam com base numa bolsa Ibérica de energia elétrica assente em dois polos: o Português (OMI) e o Espanhol (OMIE). O OMIP, atualmente operado por Portugal, gere as transações a prazo do MIBEL, e o OMIE operador do mercado espanhol, gere de uma forma integrada o mercados diário e intradiário.

## 2.3 Estrutura do Mercado Ibérico

### 2.3.1 Mercado Diário

O mercado diário do MIBEL tem como objetivo realizar as transações de energia elétrica para o dia seguinte, de acordo com as ofertas de vendas apresentadas e as propostas de aquisição de energia elétrica. Logo, o mercado define o preço para cada uma das 24 horas do dia seguinte, ao longo do ano. A plataforma do mercado diário em que se integra Portugal é gerida pelo OMIE, sendo a hora de negociação determinada pela hora legal espanhola (HOE) [8].

Este mercado funciona através do cruzamento de ofertas (compra e venda), com a participação de diversos agentes registados, sendo indicados para cada oferta o dia e a hora a que se reporta, bem como o preço e volume de energia correspondentes. O preço de mercado é obtido através da intersecção da curva da procura com a curva da oferta.

Devido ao mercado diário compreender simultaneamente Portugal e Espanha é necessário verificar e prever se a capacidade de interligação comercial disponível entre ambos os países comporta o fluxo de energia. No caso de uma congestão do fluxo de energia entre os dois países realiza-se uma separação de mercados (*Marker Splitting*), obtendo-se um preço diferente em cada zona do Mercado Ibérico, sem congestão interna entre ambos os

sistemas elétricos. De realçar, que a solução explicitada ocorre de acordo com as regras definidas para o mercado.

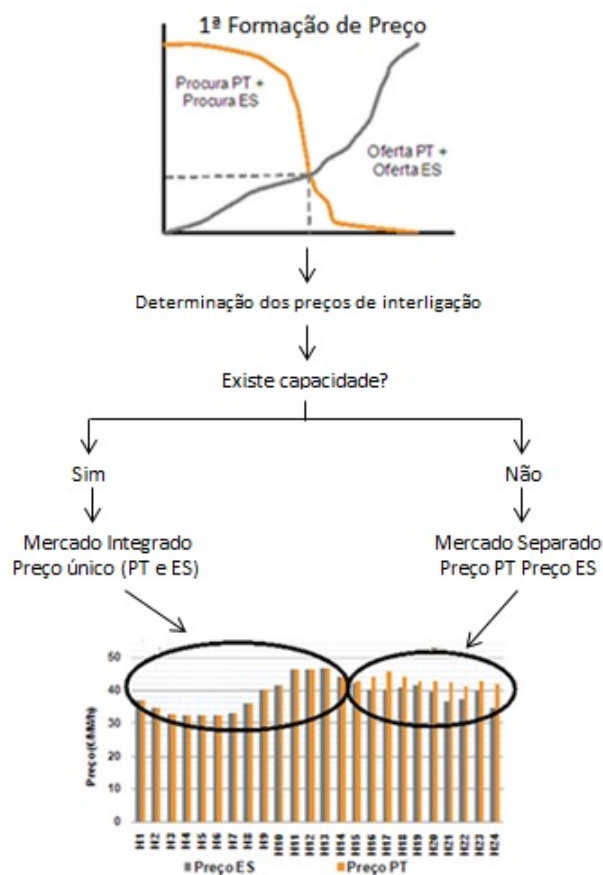


Figura 2.4: Funcionamento do mercado diário [8]

### 2.3.2 Mercado Intradiário

O mercado intradiário do MIBEL tem como objetivo complementar o mercado diário, de forma a ajustar as quantidades transacionadas de eletricidade nesse mercado, sendo composto por seis sessões diárias de negociação.

Este mercado permite a participação de todos os agentes compradores que tenham participado no mercado diário ou realizado contratos bilaterais. O preço de mercado é obtido da mesma forma que no mercado diário, com a intersecção da curva da procura com a curva da oferta, sendo garantido também qualidade, fiabilidade e qualidade do sistema [8].

Na seguinte figura 2.5 é possível analisar as horas correspondentes a cada uma das sessões.

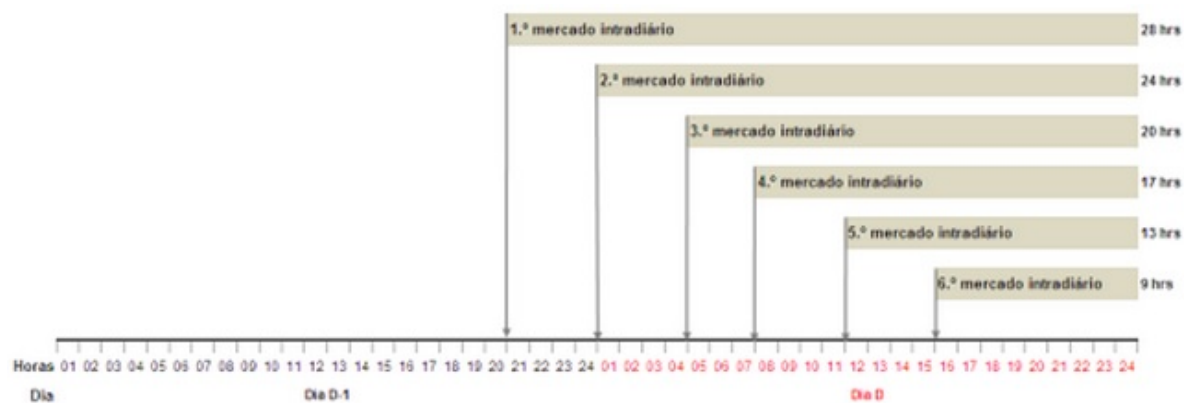


Figura 2.5: Sessões do Mercado Intradiário [8]

### 2.3.3 Contratos Bilaterais

Devido a existirem oscilações rápidas dos preços da energia relacionadas com a elevada instabilidade económica a nível mundial, surgiram as transações bilaterais. No mercado de contratos bilaterais é celebrado um contrato entre um agente da procura e um agente da oferta. Este contrato é negociado diretamente entre os dois agentes de forma a discutirem os preços, termos e condições livremente especificadas no mesmo. Antes da finalização do contrato é necessário comunicar ao operador de sistema se há capacidade de transporte suficiente para assegurar a transação, de forma a não colocar em perigo a segurança e fiabilidade do sistema elétrico.

O modelo de contratos bilaterais é um modelo rígido que garante a segurança do preço da eletricidade, uma vez que este é estabelecido por um contrato físico e por um determinado período de tempo. Uma das vantagens deste modelo passa pela eliminação do risco associado à volatilidade do preço no mercado em bolsa, embora se corra o risco de estabelecer um mau contrato que leve a perder todo o seu benefício. Uma vez que o preço da energia estabelecido num contrato bilateral é fixo, o preço assume um risco, devido a erros da previsão de carga e à incerteza do preço do combustível, levando a que o preço contratado possa ser superior ou inferior ao preço do mercado diário. De realçar, que neste tipo de contratos as taxas de acesso à rede em média tensão apresentam um preço fixo (tarifa) independentemente do volume consumido por parte do consumidor.

Este mercado apresenta vantagens, como por exemplo ser bastante flexível e ser um estabilizador dos preços de mercado. Como desvantagens, apresenta um elevado custo de negociação e o risco de crédito. Os contratos bilaterais levantam algumas questões nomeadamente [18]:

- Não existe compatibilidade entre um despacho realizado e as normas nos sistemas elétricos tradicionais;



- Podem levar à diminuição do número de contratos, pois a transparência de preços é menor caso exista um número muito elevado de consumidores a escolher este tipo de modalidade;
- Podem reforçar o poder de mercado e consequentemente facilitar a manipulação dos preços pelos participantes mais poderosos.

Além dos contratos bilaterais físicos, existem outros tipos de contratos, sendo de realçar os contratos por diferenças e futuros. Em ambos os casos os contratos são de natureza financeira, com o objetivo de lidar com o risco dos mercados a curto prazo.

Nos contratos por diferenças é estabelecido um preço alvo resultante de um acordo entre duas entidades, a entidade consumidora e a entidade produtora. Durante o intervalo de tempo em que o contrato foi definido caso o preço do mercado seja superior ao preço alvo haverá uma compensação da entidade produtora. No caso de o preço de mercado ser inferior ao preço alvo a compensação será realizada pela entidade consumidora.

Nos contratos futuros, as entidades contratantes reservam o direito de utilização de energia elétrica a um preço definido, com um determinado horizonte temporal. As opções permitem que as entidades contratantes possam utilizar ou não os recursos reservados, oferecendo por isso menor risco, já que podem ser desativadas para aproveitamento de situações mais interessantes que possam entretanto surgir.

De acordo com a análise realizado ao MIBEL em 2014, conclui-se que os contratos bilaterais representam um total de 31,63% do volume total de negócios, sendo que a energia transacionada foi de 456 222 GWh, dos quais 81,37% (328 361 GWh) estão associados a Espanha e apenas 16% (72 261 GWh) a Portugal. A figura 2.6 compara o peso dos clientes de contratos bilaterais com os de mercado organizado (mercado diário, intradiário e de serviços de sistema) no MIBEL. Facilmente se verifica que os clientes de mercado organizado têm um peso aproximadamente três vezes superior ao de contatos bilaterais.

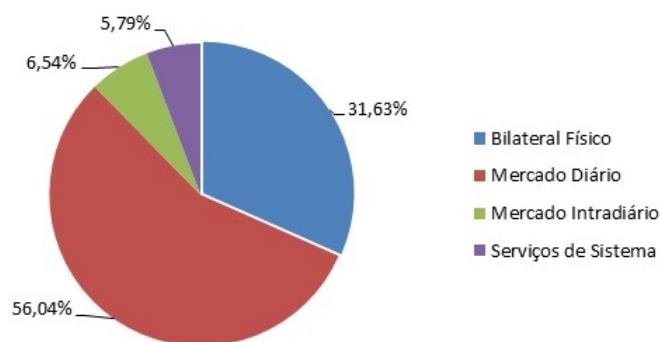


Figura 2.6: Contratação bilateral versus mercados organizados em 2014 (MIBEL)

Na figura 2.7 é possível analisar a importância da contratação bilateral para o mercado espanhol, português e MIBEL, assim como o peso dos mercados diário, intradiário e de serviços de sistema. Em Portugal, o mercado diário é o que assume maior importância com 67% das transações de energia realizadas. Em relação a Espanha, apesar do mercado diário voltar a ter o maior peso com 45% da energia transacionada, a diferença para a contratação bilateral é de apenas 5%, sucedendo que em alguns meses de ano de 2014 a contratação bilateral tenha assumido maior relevância no mercado espanhol. A nível do MIBEL verifica-se a mesma situação, continuando o mercado diário a ser maioritário nas transações com 48,34%, seguindo-se a contratação bilateral com 36,77%. Em relação ao mercado intradiário e aos serviços de sistema, estes refletem uma pequena parcela devido ao primeiro ser apenas um mercado de ajustes, e o segundo garantir o cumprimento das condições de qualidade e segurança requeridas para o fornecimento de energia eléctrica.

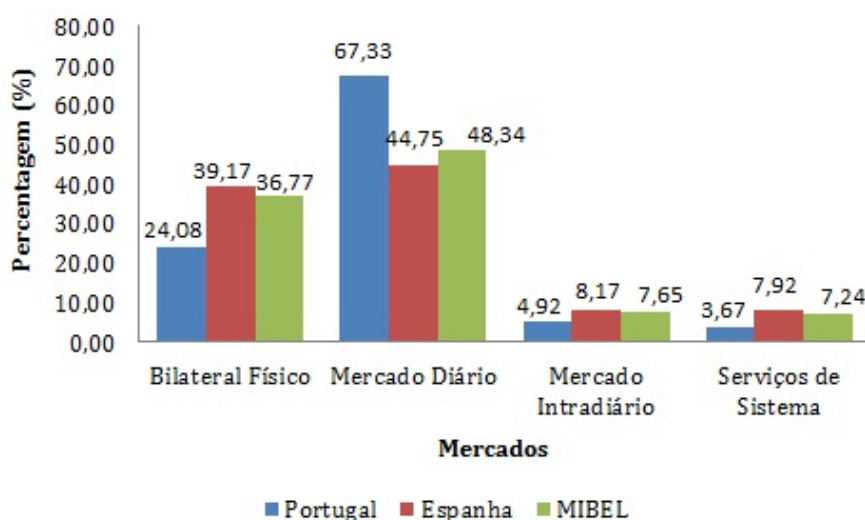


Figura 2.7: Importância dos mercados em 2014

Com objetivo de aprofundar ainda mais a análise aos contratos bilaterais, na figura 2.8 pode-se observar o peso que estes tiveram nos anos de 2012, 2013, 2014 e no primeiro trimestre de 2015 no MIBEL, mercado espanhol e mercado português. De realçar, que os mesmos têm vindo a subir em Portugal desde 2012, registando uma subida de 5% no total do mercado nos últimos 3 anos, o que representa uma grande subida para o mercado energético do nosso país. Em relação ao mercado espanhol, houve uma descida de 3,83%, registando-se uma queda abrupta entre 2012 e 2013, apesar de ter subido entre 2013 e 2014. Logo, no MIBEL também se registou uma descida, visto que a quantidade de energia transacionada nos mercados ser superior em Espanha, tendo esta descido cerca de 3,06%. De realçar, que no primeiro trimestre de 2015 houve uma subida muito significativa em todos os mercados. Caso se mantenha esta subida, prevê-se que entre 2012 e 2015 a percentagem de contratos bilaterais terá valores superiores ao do ano de 2012 (em todos os mercados). Logo, conclui-se que a presente dissertação vem ao encontro das necessidades

dos mercados energéticos, visto que a contratação bilateral assume cada vez mais um papel importante nos mesmos.

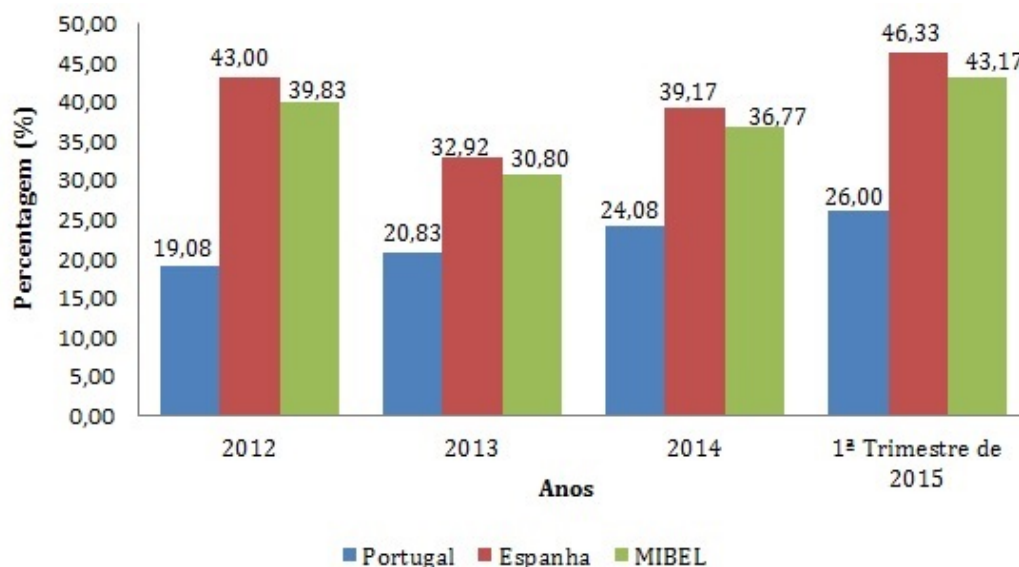


Figura 2.8: Contratação bilateral no MIBEL, mercado português e espanhol

## 2.4 Conclusão

A liberalização do setor elétrico e consequente reestruturação, conduziu a um novo funcionamento, organização, gestão e conjunto de desafios por parte das entidades envolvidas. Apenas o transporte e distribuição de energia elétrica se mantiveram como monopólios naturais, não existindo qualquer tipo de concorrência. Em relação à produção e comercialização a concorrência é cada vez maior, sendo necessário um maior conhecimento do mercado e adoção de estratégias que permitam concretizar os objetivos propostos.

De acordo com os modelos atuais de mercado, pode-se concluir que os modelos com maior relevância são o mercado diário e o mercado de contratos bilaterais. Devido à presente dissertação ter como foco a contratação bilateral, realizou-se um estudo (Portugal, Espanha e MIBEL) desde 2012 até ao primeiro trimestre de 2015, com o objetivo de perceber a sua evolução durante este período de tempo. É possível concluir que houve um crescimento neste período, o que mostra a importância da contratação bilateral nos últimos anos.



## SISTEMAS MULTIAGENTES

### 3.1 Introdução

Os desafios que se colocam com a liberalização dos mercados energéticos são múltiplos e complexos, e a instabilidade uma realidade. A aposta nas ferramentas tecnológicas de apoio à decisão assume-se como fundamental para ganhar agilidade e capacidade de resposta num mercado em profunda transformação.

Logo, os sistemas multiagentes (SMA) têm exercido cada vez mais um papel fundamental desde a liberalização dos mercados energéticos. Os SMA são compostos por agentes autónomos e podem ser utilizados em diferentes plataformas computacionais. Assim sendo, foram criados simuladores computacionais com o objetivo de recriar o mercado liberalizado. Todos estes simuladores têm como base protocolos e estratégias de negociação "reais", visto que desempenham um papel fundamental no apoio à decisão. O presente capítulo descreve o funcionamento dos SMA, a interação entre agente autónomos, o processo de negociação entre eles e os simuladores multiagentes de mercados de eletricidade (SMME) existentes.

### 3.2 Sistemas Multiagente

Os SMA são sistemas computacionais onde os agentes podem cooperar e competir entre eles, de forma a atingirem os objetivos pessoais e coletivos a que se propuseram. Os SMA são sistemas compostos por múltiplos agentes que exibem um comportamento autónomo, mas ao mesmo tempo interagem com os outros agentes presentes no sistema. Estes agentes exibem duas características fundamentais [24]:

- Capacidade de agir de forma autónoma, tomando decisões de acordo com os objetivos pretendidos;
- Capacidade de interagir com outros agentes, utilizando protocolos de interação social inspirados nos seres humanos. Estes requerem coordenação, cooperação e negociação.

A coordenação é um aspeto fundamental de um sistema multiagente, sem o qual os benefícios da interação se perdem, correndo-se o risco de o sistema rapidamente degenerar num conjunto de agentes com comportamento caótico. Na coordenação, os agentes integram o seu conhecimento e recursos para alcançarem objetivos, que em termos individuais não conseguiriam [20]. Um dos métodos mais reconhecidos de coordenação é o protocolo de rede de contratos. Proposto inicialmente por Davis e Smith como um mecanismo de negociação, a sua aplicação considera-se mais abrangente como um método de coordenação para atribuição de tarefas [21].

### 3.2.1 Agentes autónomos

Não existe uma definição única de agente, mas em contrapartida diversas definições possíveis. Uma das mais conhecidas, e aceite na comunidade científica é apresentada por Wooldridge e Jennings [26], sendo que definem um agente como uma peça de *hardware* ou (mais usual) um sistema computacional baseado em *software* com as seguintes propriedades [27]:

- **Autonomia:** o agente opera sem a intervenção direta de humanos ou de outros agentes, possui algum controlo sobre as suas ações e estado interno;
- **Reatividade:** o agente tem a percepção do seu ambiente e responde rapidamente às alterações que nele ocorrem;
- **Pró-Atividade:** o agente não se limita a agir em resposta ao seu ambiente. Ele é capaz de tomar a iniciativa e exibir um comportamento direcionado por objetivos;
- **Habilidade Social:** o agente tem a capacidade de interagir com outros agentes ou mesmo com humanos, através de uma linguagem que permita a comunicação entre agentes.

Uma das características fundamentais de um agente é a sua capacidade para perceber o ambiente em que está envolvido e agir de forma autónoma, independentemente do tipo de ambiente. Logo, um agente possui sensores e atuadores apropriados ao seu ambiente, com o objetivo de executar as tarefas para o qual foi projetado. A figura 3.1 apresenta o esquema típico de um agente [27].

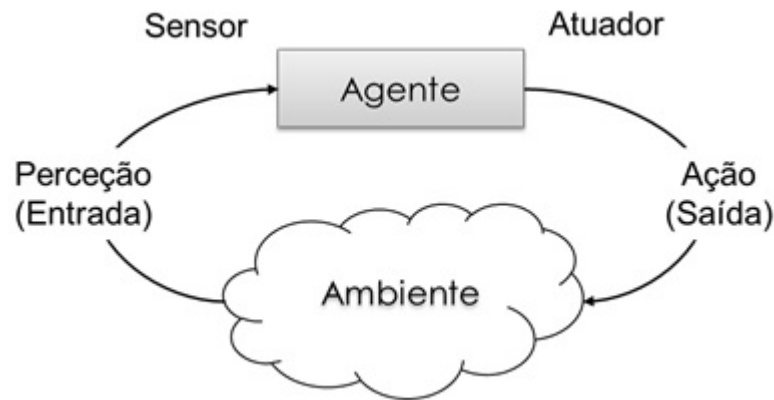


Figura 3.1: Agente autônomo interagindo com o ambiente

Os agentes podem ser divididos em várias categorias, de acordo com as seguintes propriedades: mobilidade, relacionamento entre agentes, percepção e memória. Quanto à mobilidade existem dois tipos de agentes: móveis e situados ou estacionários [3].

- **Agentes Móveis:** têm como principal característica a habilidade de se mover pela rede, sendo úteis para lidar com a heterogeneidade da rede e na tomada de decisões envolvendo uma grande quantidade de informação;
- **Agentes Situados ou Estacionários:** são opostos aos móveis, estando fixos num ambiente e/ou plataforma.

Quanto à forma de lidar com outros agentes, estes podem dividir-se em agentes competitivos e colaborativos.

- **Agentes Competitivos:** não colaboram com outros agentes, competem entre si com a finalidade de alcançarem os seus objetivos;
- **Agentes Colaborativos:** apesar de cada agente realizar tarefas específicas, têm normalmente o mesmo objetivo, de forma a atingi-lo realizam essas tarefas coordenadamente.

Quanto à percepção e memória os agentes dividem-se em agentes reativos e cognitivos.

- **Agentes Reativos:** normalmente não têm memória, ou seja, não conseguem prever ou antecipar qualquer tipo de ações futuras. Este tipo de agentes reage a estímulos, sendo que atuam mais em sociedades. Percepcionam o ambiente em que estão envolvidos e formam grupos com outros agentes, conseguindo assim adaptar-se mais facilmente;
- **Agentes Cognitivos:** têm normalmente memória, possuindo um poder de raciocínio elevado sobre as ações realizadas no passado e com a capacidade de planejar ações a

serem tomadas no futuro. Têm um elevado conhecimento do ambiente envolvente e desse modo têm a possibilidade de resolver problemas de forma autónoma. Cada agente possui objetivos específicos.

Como é possível verificar, todos os tipos de agentes assumem uma função importante no ambiente, apesar de alguns não possuírem as quatro propriedades referidas acima (autonomia, reatividade, pró-atividade e habilidade social).

### 3.2.2 Negociação entre Agentes Autónomos

A negociação é um processo de decisão conjunta entre as partes envolvidas, com o objetivo de tentar chegar a um acordo que seja benéfico para todos. Existem dois tipos de situações negociais: cooperativa e competitiva. Na cooperativa ambas as partes têm interesses similares, sendo que todo o processo de negociação é facilitado tendo apenas de se ajustar alguns pormenores. Na competitiva ambas as partes têm interesses opostos, com um elevado número de divergências, caso estas não sejam resolvidas pode não se chegar a um acordo.

Visto que a negociação abordada na presente dissertação se refere a uma negociação computacional entre agentes autónomos, são dois os pontos fundamentais: protocolo e estratégia de negociação. O protocolo de negociação é conjunto de regras definidas que permitem que a interação entre os agentes ocorra de forma ordenada. Relativamente à estratégia de negociação, cada agente pode optar pela estratégia que presume ser a que retorne maior benefício. De notar, que a estratégia utilizada tem de ter como base o protocolo definido inicialmente e não somente o contexto da negociação. Cada agente tem a liberdade de poder alterar a sua estratégia durante a negociação, visto que em determinados momentos essa alteração pode ser fundamental para um acordo final.

A estrutura da negociação é composto por quatro processos: pré negociação, negociação, resolução de impasses e renegociação. O processo de pré negociação tem como propósito a preparação e o planeamento da negociação. A resolução de impasses tem como objetivo solucionar as divergências entre ambos os agentes, sendo caracterizado por uma extensa interação e manobras estratégicas. O processo de renegociação tem como finalidade analisar e melhorar um acordo final. Na figura 3.2 é apresentado a estrutura de negociação automatizada.

A pré negociação é um processo que assume grande relevância devido a realizar toda a preparação e planeamento da negociação. Neste processo são definidos os objetivos a alcançar, os limites até os quais não se pretende abandonar a negociação e a escolha do protocolo adequado.



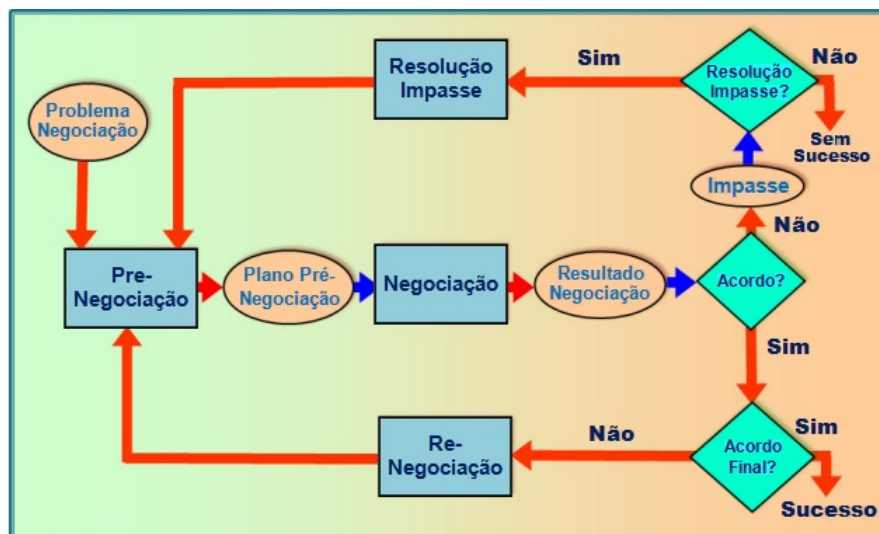


Figura 3.2: Estrutura do processo negocial [14]

### 3.2.3 Plataformas Computacionais para Sistemas Multiagente

Atualmente existe um número elevado de plataformas computacionais para sistemas multiagente, na presente secção o foco principal será dado à plataforma JADE, pois foi a usada na dissertação.

#### 3.2.3.1 JADE

O JADE é uma estrutura de *software* implementada através da linguagem de programação JAVA. Esta plataforma simplifica a implementação dos SMA através de um mediador em conformidade com as especificações da FIPA, com base num conjunto de ferramentas gráficas que suportam as fases de depuração e implementação. Um sistema baseado em JADE pode ser distribuído através de várias máquinas (que não precisam de partilhar o mesmo sistema operativo) podendo a configuração ser controlada através de uma interface remota. A configuração pode ser alterada mesmo durante a sua execução, por agentes que se deslocam de uma máquina para outra [9].

A estrutura da plataforma computacional JADE (figura 3.3) é composta pelo módulo "Agente", "Gestão do Sistema Agente", "Facilitador" e "Transporte e comunicação de mensagens". O módulo "Gestão do Sistema Agente" exerce o controlo sobre o uso e acesso da plataforma, existindo apenas um por plataforma (todos os agentes são obrigados a registar-se). O módulo "Facilitador" oferece todo o serviço de informação sobre os agentes. A componente onde é realizada a comunicação e transporte de informação obedece ao protocolo da FIPA, sendo as mensagens trocadas através da linguagem ACL (*Agent Communication Language*).

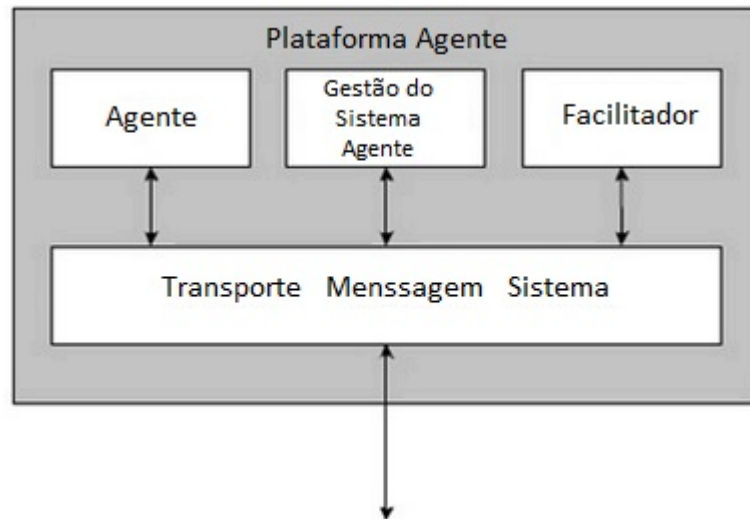


Figura 3.3: Estrutura da plataforma computacional JADE [jade]

O JADE é um *software* livre, distribuído pela *Telecom Italia*, sendo esta titular dos direitos de autor nos termos e condições da Licença *Lesser General Public Licence, Version 2* (LGPL). Em 1998, foram dados os primeiros passos no desenvolvimento da plataforma JADE, tendo esta como finalidade a implementação e validação dos protocolos FIPA. De referir, que o código fonte apenas foi tornado público em Fevereiro de 2000. Entre 2000 e 2002, graças à contribuição do projeto *LEAP*, versões *ad hoc* de JADE permitiram implementar agentes em diferentes ambientes, como em dispositivos *Android* e *J2ME MIDP 1.0 CLDC-dispositivos*. Em Março de 2003, a *Motorola* e a *Telecom Italia* criaram a organização *JADE Governing Board* sem fins lucrativos, com o objetivo de promover o desenvolvimento e adoção do JADE por parte da indústria. Esta organização aceita que qualquer empresa desenvolva e promova a plataforma JADE. Também é possível que qualquer utilizador através de uma comunidade possa relatar erros, publicar comentários ou sugestões, proporcionando assim uma contribuição para da melhoria plataforma JADE.

Quando a plataforma JADE se tornou pública pela *Telecom Italia*, esta era utilizada quase exclusivamente pela comunidade FIPA. Devido às suas características cresceram para além das especificações FIPA, começando a ser utilizada pela comunidade global de programadores. De notar, que o JADE contribuiu para a difusão das especificações FIPA, fornecendo um conjunto de ferramentas que "escondem" essas próprias especificações. Os programadores podem fazer implementações de acordo com as especificações sem precisar de as estudar, isto é uma das principais qualidades do JADE em relação à FIPA [2].

### 3.2.3.2 Outras Plataformas Computacionais

Existem outras plataformas computacionais diferentes do JADE, como o *Java Agent Template Lite* (JATLite), o *Open Agent Architecture* (OAA) e o ZEUS.

A plataforma JATLite também tem como base a linguagem de programa JAVA. A comunicação entre agentes é realizada através da linguagem KQLM (*Knowledge Query and Manipulation Language*) e do protocolo TCP/IP. Esta plataforma foi desenvolvida na Universidade de Stanford com o objetivo de facilitar a comunicação entre agentes heterogêneos e distribuídos.

A plataforma OAA tem como vantagem a execução de agentes em diferentes sistemas operativos e ser suportado em diferentes linguagens de programação. Foi desenvolvido no *SRI International*, tendo como linguagem de comunicação entre os agentes a ICL (*Interagent Communication Language*). A plataforma é utilizada para realizar consultas, executar ações e trocar informações. A comunicação e cooperação entre agentes são mediadas por facilitadores, responsáveis por responder aos pedidos dos utilizadores e dos agentes, com descrições das capacidades de outros agentes [15]. Uma das utilidades desta plataforma é ter sido utilizada para o desenvolvimento do simulador MASCEM (*Multi-Agent System that Simulates Competitive Electricity Markets*).

A plataforma ZEUS foi desenvolvida por um conjunto de investigadores da *British Telecommunications Laboratories*, sendo suportada por um ambiente visual através do qual o utilizador efetua a especificação dos agentes. Esta plataforma suporta a linguagem FIPA-ACL, vários mecanismos de coordenação entre agentes, fornece ferramentas para desenvolvimento de ontologias, fornece alguns agentes utilitários pré-definidos e permite que os agentes encapsulem sistemas preexistentes. A comunicação entre os agentes é feita através de *sockets*, utilizando o protocolo TCP/IP [9].

## 3.3 Principais Simuladores de Mercados Elétricos

Após a liberalização do setor energético, os simuladores multiagente de mercados de energia (SMME) assumiram um papel fundamental nos mercados de energia elétrica (MEE). Estes simuladores permitem a representação de diferentes tipos de mercado e dos agentes que nele participam. Os SMME são uma aproximação bastante realista dos MEE, sendo que têm como finalidade a análise do comportamento entre os agentes e a utilização de diferentes estratégias de negociação. De seguida são apresentados três SMME: o *Electric Market Complex Adaptive System* (EMCAS), o MASCEM e o Simulador de Contratos Bilaterais de Energia (SCBE).

### 3.3.1 EMCAS

O sistema EMCAS (*Electric Market Complex Adaptive System*) foi desenvolvido pelo Centro de Energia, Ambiente e Análises de Sistemas Económicos, no Laboratório Nacional de Argonne, em 2007. Os agentes representados no EMCAS possuem capacidade de aprendizagem baseada em algoritmos genéticos, sendo eles geradores, intermediários,

consumidores e operadores de sistema. Cada agente possui diversos objetivos e pode usar uma ou mais estratégias de negociação [16].

Este simulador permite a representação dos mercados em bolsa e de contratação bilateral. A negociação de um contrato bilateral é iniciada por um agente consumidor (procura), que envia uma proposta com o volume de energia que necessita a diversos agentes produtores (oferta). A proposta enviada é analisada por cada agente produtor, que faz uma oferta com o preço a pagar pela totalidade ou parte da energia solicitada. De notar, que este simulador possui um histórico e previsões futuras do mercado em bolsa que permitem aos agentes tomar as suas decisões de forma a obter um acordo que lhes seja mais favorável.

### 3.3.2 MASCEM

O MASCEM (*Multi-Agent System that Simulates Competitive Electricity Markets*) foi desenvolvido no ano de 2004, no Instituto Superior de Engenharia do Instituto Politécnico do Porto e na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. O simulador tem como plataforma computacional a OAA, com base na linguagem de programação JAVA [20].

O MASCEM permite o estudo do mercado em bolsa, da contratação bilateral e de diversos comportamentos por parte das entidades participantes, sendo útil em diferentes abordagens à liberalização do mercado. As entidades representadas dizem respeito a um facilitador, produtores, um operador de mercado, consumidores, retalhistas e um operador de sistema. O comportamento das entidades de mercado é baseado em estratégias dinâmicas para definição de preços. No mercado em bolsa, um agente consumidor apresenta a sua proposta dividida em 24 períodos (relativo às 24 horas do dia), sendo esta regulada pelo operador de mercado. No mercado de contratos bilaterais, os agentes consumidores e produtores negociam entre si a energia a transacionar. Tanto no mercado em bolsa como no mercado de contratos bilaterais é necessário informar o operador de sistema [20][28].

Uma das vantagens deste simulador é a sua flexibilidade e abrangência, tornando o MASCEM numa ferramenta útil no contexto da reestruturação dos mercados elétricos [20].

### 3.3.3 SCBE

O SCBE (Simulador de Contratos Bilaterais de Energia) foi desenvolvido no Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) em colaboração com o Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) no ano de 2011, na dissertação do aluno Bruno Pereira. O SCBE tem como base a linguagem de programação JAVA, tendo como plataforma o JADE e o protocolo de comunicação da FIPA. Este simulador tem como objetivo auxiliar os agentes no processo de decisão recorrendo à utilização de diferentes estratégias de negociação, de forma a perceber qual é a estratégia que mais se adequa aos objetivos pretendidos. O SCBE

permite a negociação do preço (tarifa) de energia elétrica em 4 períodos distintos (ponta, cheias, vazio normal e super vazio) entre um agente vendedor e um agente comprador de eletricidade. Para facilitar a utilização do simulador, está implementada uma interface gráfica que permite a inserção e análise de dados [19].

### **3.4 Conclusão**

O seguinte capítulo, permitiu realizar uma abordagem sobre a importância das tecnologias computacionais nos mercados de energia elétrica. Estas tecnologias assumem hoje em dia um papel fundamental nestes mercados, apresentando novos desafios.

Descreveu-se os SMA, apresentado as capacidades que estes possuem e a forma como permitem que os agentes autónomos interagem entre si (protocolo de rede de contratos). Os agentes autónomos dispõem de um elevado número de propriedades permitindo a estes representarem as várias entidades presentes nos mercados de energia elétrica. A negociação entre estes agentes tem como base um protocolo, ou seja, um conjunto de regras que permite que toda a negociação ocorra de forma correta. Os SMA podem ser implementados em diversas plataformas computacionais, sendo dada grande importância à plataforma JADE, pois foi a utilizada nesta dissertação. O JADE tem como vantagens dispor de uma biblioteca de alto nível e estar em conformidade com as especificações da FIPA.

Apresentaram-se três SMEE: o EMCAS, o NASCEM e o SCBE. Todos estes simuladores permitem a contratação bilateral, que é o grande foco da presente dissertação. O SCBE (Simulador de Contratos Bilaterais de Energia) é a base do simulador desenvolvido na presente dissertação SMCBE (Simulador Multiagente de Contratos Bilaterais de Energia), sendo que o SCBE apenas permite a negociação dois agentes e o SMCBE permite a negociação entre cinco agentes.



## PROTOCOLOS E ESTRATÉGIAS

### 4.1 Introdução

Os protocolos e estratégias assumem um papel fundamental na negociação entre agentes. Os protocolos permitem que a negociação ocorra de acordo com um conjunto de regras preestabelecidas, de forma a facilitar um acordo entre os agentes. As estratégias de negociação têm como finalidade a adaptação de cada um dos agentes no decorrer da negociação. Estratégias bem conseguidas e eficientes permitem obter vantagens sobre os agentes concorrentes e conduzem a acordos mais benéficos.

O presente capítulo descreve o protocolo de rede de contratos e o protocolo iterativo de rede de contratos (implementado no caso de estudo da dissertação), ambos estão em conformidade com as especificações da FIPA. No capítulo também se apresentam as estratégias de negociação do agente consumidor e dos agentes comercializadores considerados no caso de estudo. O agente consumidor assume uma estratégia de corte (para o volume) e os agentes comercializadores assumem estratégias de concessão baseadas no volume de energia (para o preço).

### 4.2 Negociação de Rede de Contratos

A negociação entre agentes envolve uma troca de mensagens baseada num dado protocolo, com vista ao estabelecimento de um acordo. Um dos protocolos mais estudados foi inspirado nos processos contratuais das organizações humanas: o protocolo de rede de contratos (*The Contract Net Protocol*). Neste tipo de negociação os agentes coordenam as suas atividades através de contratos para atingirem determinados objetivos. Um agente iniciador (organizador) anuncia tarefas para um grupo de potenciais agentes contratantes. Estes respondem ao agente iniciador com licitações para a execução das tarefas. O agente

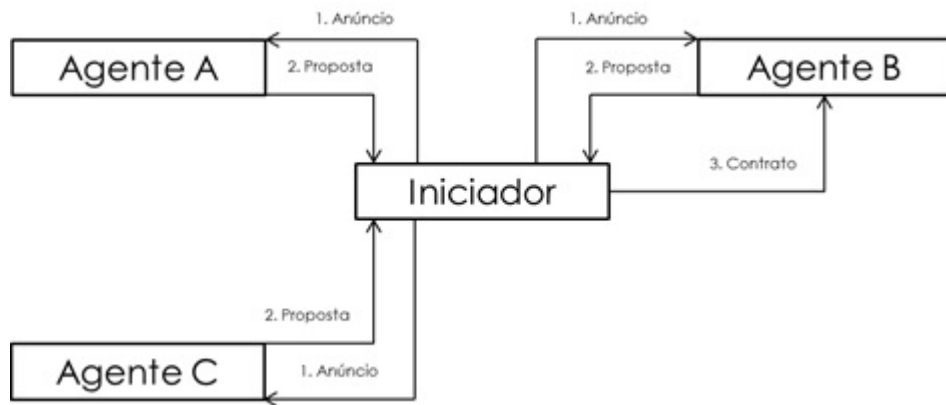


Figura 4.1: Diagrama do protocolo de rede de contratos

organizador avalia as propostas e escolhe a melhor, celebrando depois o contrato. Uma ideia importante a salientar é que cada agente tem interesses próprios, o que significa que a solução final não é necessariamente a melhor para todos os agentes envolvidos

#### 4.2.1 Protocolo de Rede de Contratos

O protocolo de rede de contratos é usado em negociações simples, entre agentes com dois papéis: iniciador (*Initiator*) e participante (*Participant*). Ao contrário do que se passa com os outros protocolos FIPA, o papel do participante pode ser desempenhado simultaneamente por vários agentes [10].

O protocolo de rede de contratos é iniciado pelo envio de uma mensagem “Pedido de Proposta” (*cfp* - *Call for Proposals*) por parte do iniciador, solicitando a apresentação de propostas (figura 4.2). Os agentes a quem a mensagem *cfp* é enviada desempenham o papel de participantes. A mensagem iniciadora *cfp* deve especificar o limite temporal para a recepção de propostas através do parâmetro *reply-by* (quando é esperada a resposta). O participante ao receber a mensagem *cfp* pode recusar participar na interação usando a mensagem “Recusa de Proposta” (*refuse*) com a razão da recusa (terminando a negociação) ou apresentar uma proposta compatível com as condições especificadas recorrendo à mensagem “Envio de Proposta” (*propose*). Se o participante apresentar uma proposta, o seu papel no protocolo transita para o estado *propose* (o agente propõe-se a executar uma dada ação numa dada condição).

Quando se atinge o limite temporal para a recepção de respostas dos participantes o iniciador analisa e avalia as respostas obtidas. O iniciador pode aceitar uma proposta usando a mensagem “Proposta Aceite” (*accept-proposal*) mediante de uma condição de aceitação especificada na mensagem. Em alternativa, pode rejeitar uma proposta usando a mensagem “Recusa de Proposta” (*reject-proposal*) contendo a razão da rejeição, terminando



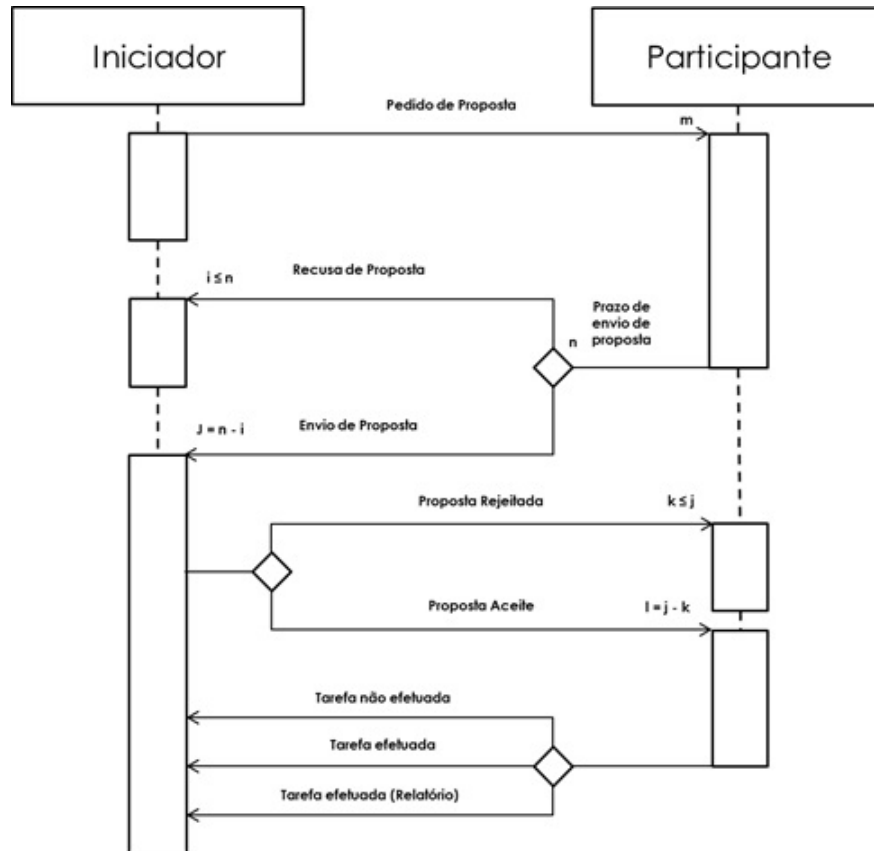


Figura 4.2: Diagrama do protocolo de rede de contratos [10]

assim o papel de participante no protocolo. Todas as propostas recebidas pelo iniciador após o limite temporal para a sua recepção serão recusadas.

Se a proposta de um participante for aceite (mediante uma condição de aceitação) o seu estado transita para *conditionally-accepted*. Neste estado, assim que a condição de aceitação for verdadeira, o participante fica obrigado a cumprir a proposta oferecida, transitando para o estado *accepted*. No estado *accepted*, o agente fica obrigado a executar o serviço proposto nas condições da proposta. Três situações podem ocorrer: (i) a execução do serviço falha, caso em que o participante envia a mensagem “Tarefa não efetuada” (*failure*), com a razão da falha, (ii) a execução tem sucesso, caso em que o participante envia uma mensagem “Tarefa efetuada”, (iii) ou a execução tem sucesso, caso em que o participante envia uma mensagem “Tarefa efetuada (Relatório)” (*inform*), dizendo que o serviço contratado foi executado com sucesso. Em qualquer dos casos, a intervenção do agente participante no protocolo termina.

A intervenção do iniciador no protocolo termina apenas quando terminar a intervenção com todos os agentes participantes no protocolo. Como em todas as conversações, todas as mensagens trocadas entre o iniciador e cada um dos participantes são identificadas através do parâmetro *conversation-id*, cujo valor é criado pelo iniciador do protocolo quando envia

a mensagem *cfp*. O iniciador é livre de criar um identificador de conversa diferente para cada um dos participantes ou usar sempre o mesmo. Em qualquer momento, qualquer interveniente no protocolo pode não perceber uma mensagem, caso em que envia a mensagem *not-understood* com a razão associada.

#### 4.2.2 Protocolo Iterativo de Rede de Contratos

O protocolo iterativo de rede de contratos (figura 4.3), como o próprio nome indica, é uma versão iterativa do protocolo descrito na secção anterior.

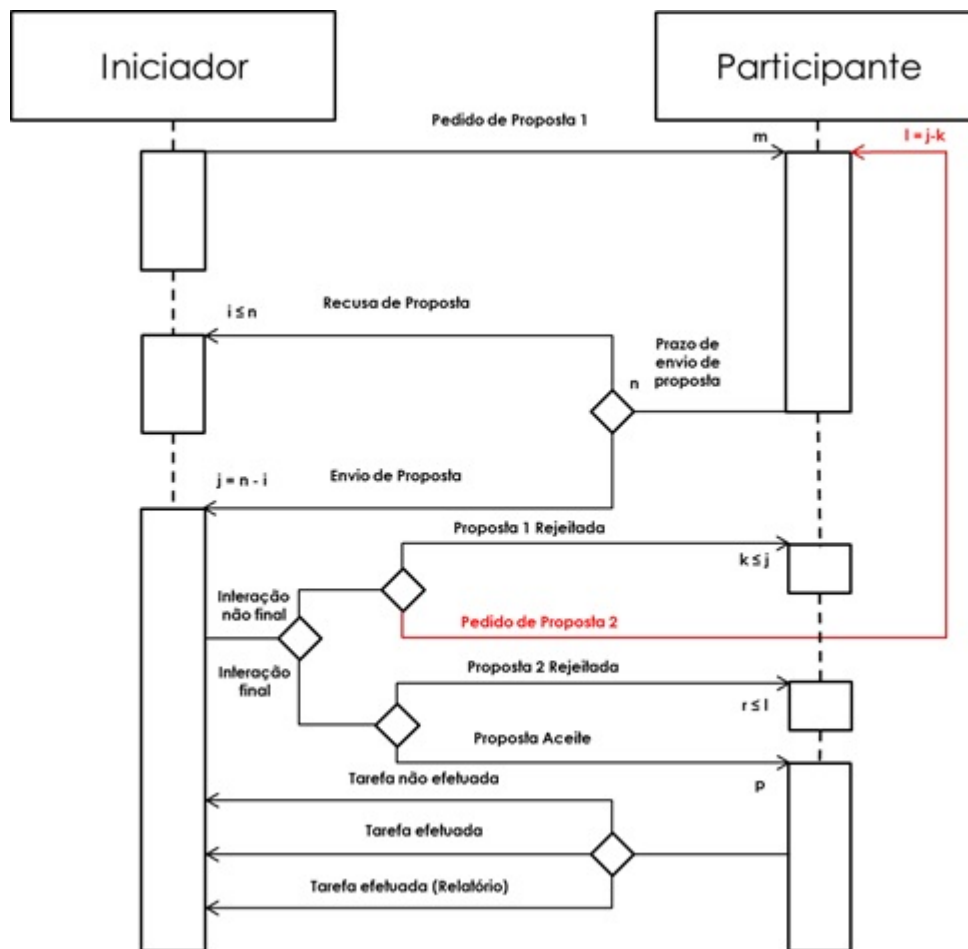


Figura 4.3: Diagrama do protocolo iterativo de rede de contratos [10]

Quando se atinge o tempo limite para apresentação de propostas, o iniciador avalia as propostas recebidas, podendo rejeitar propostas, aceitar propostas (caso em que o protocolo termina) ou voltar a enviar um *cfp* reformulado a alguns dos participantes que enviaram propostas (neste caso, o protocolo repete-se). O processo termina quando todas as propostas são rejeitadas e o iniciador não envia um novo *cfp*, quando nenhuma proposta for apresentada ou quando pelo menos uma proposta é aceite e o serviço contratado é prestado.

### 4.3 Estratégias de negociação

Devido à liberalização do mercado de energia elétrica, as estratégias de negociação assumem cada vez mais um papel fundamental na celebração de um contrato bilateral, visto permitirem aos agentes envolvidos na negociação definirem as suas ambições e exigências. Além disso, cada agente tem a capacidade de se adaptar às propostas recebidas, na tentativa de melhorar as suas contrapostas. Em suma, uma estratégia escolhida por um agente tem sempre presente os seus objetivos.

Existem dois tipos fundamentais de estratégias de negociação:

- **Estratégias de concessão:** os agentes que utilizam estas estratégias reduzem totalmente ou parcialmente as suas aspirações, de forma a adaptarem-se às do seu oponente;
- **Estratégias de resolução de problemas:** os agentes que utilizam estas estratégias mantêm as suas aspirações e tentam conciliá-las com as do seu oponente, de forma a ambos obterem o melhor benefício possível [12].

Existem três tipos fundamentais de estratégias de concessão:

- **Estratégias de concessão fixa:** definem a evolução dos preços ao longo de uma negociação através de um fator de concessão fixo;
- **Estratégias de concessão baseadas na prioridade dos itens:** define a evolução dos preços ao longo de uma negociação através de um fator de concessão variável. Ao utilizar estas estratégias o agente atribui uma importância diferente a cada um dos períodos;
- **Estratégias de concessão baseadas no volume de energia:** definem a evolução dos preços ao longo de uma negociação através do volume associado a cada período. Assim, o fator de concessão varia de acordo com o volume correspondente a cada período horário.

As estratégias de concessão baseadas no volume de energia foram as estratégias adotadas pelos agentes comercializadores. Na subsecção 4.3.2 é possível compreender detalhadamente as mesmas.

Além das estratégias mencionadas, também existem estratégias que têm como base a participação ativa dos consumidores (PAC), como é caso da estratégia utilizada pelo agente consumidor no caso de estudo do capítulo 5. Concretamente, a estratégia utilizada pelo consumidor foi uma estratégia de corte (subsecção 4.3.1), sendo que numa certa etapa da negociação o consumidor aplica um corte ao volume de energia em determinados períodos. Esse corte é uma tentativa de reduzir as tarifas nos períodos com preços mais

elevados (períodos de ponta e cheias). De realçar, que o corte nos volumes energéticos não envolve qualquer investimento por parte do consumidor.

#### 4.3.1 Estratégia do Consumidor: Estratégia de Corte

Esta estratégia tem como principal foco a redução do consumo de energia nos períodos de preços elevados, com o objetivo de os reduzir. Destina-se a minimizar o custo do agente consumidor ( $Ag_c$ ), considerando os preços  $P_i^r$  ( $i=1. .n$ ) propostos pelo agente retalhista ( $Ag_r$ ), e a determinar valores apropriados para os volumes  $V_i^c$  e  $Ag_c$ .

$$\text{Minimizar Custo} = \sum_{i=1}^n P_i^r \times V_{i_{novo}}^c \quad (4.1)$$

$$V_{i_{min}}^c < V_{i_{novo}}^c \quad (4.2)$$

$$V_{i_{novo}}^c = (1 - CR) \times V_{i_{antigo}}^c \quad (4.3)$$

$$V_{total} = \sum_{i=1}^n V_{i_{novo}}^c \quad (4.4)$$

sendo:

- $Custo$  - representa o custo do agente  $Ag_c$ ;
- $n$  - representa o número de períodos;
- $P_i^r$  - representa o preço do agente  $Ag_r$ , para o período  $i$ ;
- $V_{i_{antigo}}^c$  - representa o volume do agente  $Ag_c$  antes do corte, para o período  $i$ ;
- $V_{i_{novo}}^c$  - representa o volume do agente  $Ag_c$  após o corte, para o período  $i$ ;
- $V_{i_{min}}^c$  - representa o volume mínimo do agente  $Ag_c$ , para o período  $i$ ;
- $CR$  - constante de corte, que varia no intervalo  $[0,1]$ .
- $V_{tot}^c$  - representa o volume total do agente  $Ag_c$ .

A restrição 4.2 assegura que os volumes considerados pelo agente  $Ag_c$  não podem ser inferiores ao  $V_{i_{min}}^c$ , ou seja, os volumes enviados numa nova proposta, por período, têm de ser superiores ao valor mínimo necessário para que  $Ag_c$  funcione dentro da normalidade. A expressão 4.3 efetua o corte de volume, por período, do agente  $Ag_c$  de acordo com uma contante de corte (CR). De realçar, que é aconselhável considerar uma margem acima do  $V_{i_{min}}^c$ , de forma a precaver qualquer consumo acima do previsto num determinado período. Após efetuar o corte, o  $V_{tot}^c$  corresponde ao somatório dos novos volumes, sendo que este será sempre inferior aos volumes iniciais.

### 4.3.2 Estratégia dos Comercializadores: Estratégia de Concessão Baseada no Volume de Energia

A estratégia de concessão baseada no volume de energia tem como objetivo calcular novas tarifas (preços) por período, tendo em conta os volumes de energia elétrica em cada período. A expressão 4.5 apresenta a fórmula para o cálculo dos novos preços.

$$P_{i_{novo}}^r = P_{i_{antigo}}^r - \left[ Cf \times (P_{i_{antigo}}^r - P_{i_{limite}}^r) \right] \quad (4.5)$$

A fórmula utilizada para o fator de concessão ( $Cf$ ) varia de acordo com os períodos horários (expressões 4.6 e 4.7). O fator  $Cf$  correspondente aos períodos de ponta e cheias é dado por:

$$Cf = e^{-\varepsilon \times \left( \frac{E_i}{E_{total}} \right)} \quad (4.6)$$

Por sua vez, o fator  $Cf$  correspondente aos períodos de vazio normal e super vazio é dado por :

$$Cf = 1 - e^{-\varepsilon_2 \times \left( \frac{E_i}{E_{total}} \right)} \quad (4.7)$$

O significado das variáveis das expressões 4.5, 4.6 e 4.7 é o seguinte:

- $P_{i_{novo}}^r$  - representa o novo preço do  $Ag_r$  a enviar ao  $Ag_c$ , por período;
- $P_{i_{antigo}}^r$  - representa o preço anterior enviado pelo  $Ag_r$ , por período;
- $P_{i_{limite}}^r$  - representa o limite mínimo de preço admissível pelo  $Ag_r$ , por período;
- $Cf$  - representa o fator de concessão, que varia no intervalo  $[0,1]$ ;
- $\varepsilon$  - constante que varia no intervalo  $[0,100]$ ;
- $\varepsilon_2$  - constante que varia no intervalo  $[0,1]$ ;
- $E_i$  - representa o volume do agente  $Ag_c$ , por período;
- $E_{total}$  - representa o volume total do agente  $Ag_c$ .

A expressão 4.5 define o novo preço enviado pelo agente  $Ag_r$  por período. Este novo preço tem em conta o preço enviado anteriormente, o fator  $C_f$  e o limite mínimo de preço admissível do agente  $Ag_r$ .

O fator  $C_f$  é calculado por dois métodos diferentes, de acordo com os períodos onde regularmente existe maior ou menor consumo por parte dos consumidores industriais. Visto que nos períodos de ponta e cheias os consumos são sempre elevados devido a corresponderem aos horários compreendidos entre as 07h00 e as 00h00, o agente  $Ag_r$  opta por uma estratégia que incentiva à redução de consumo nestes. Logo, nos períodos de vazio normal e super vazio que correspondem aos períodos de menor consumo (entre as 00h00 e as 07h00) o agente  $Ag_r$  opta por uma estratégia que incentiva ao consumo.

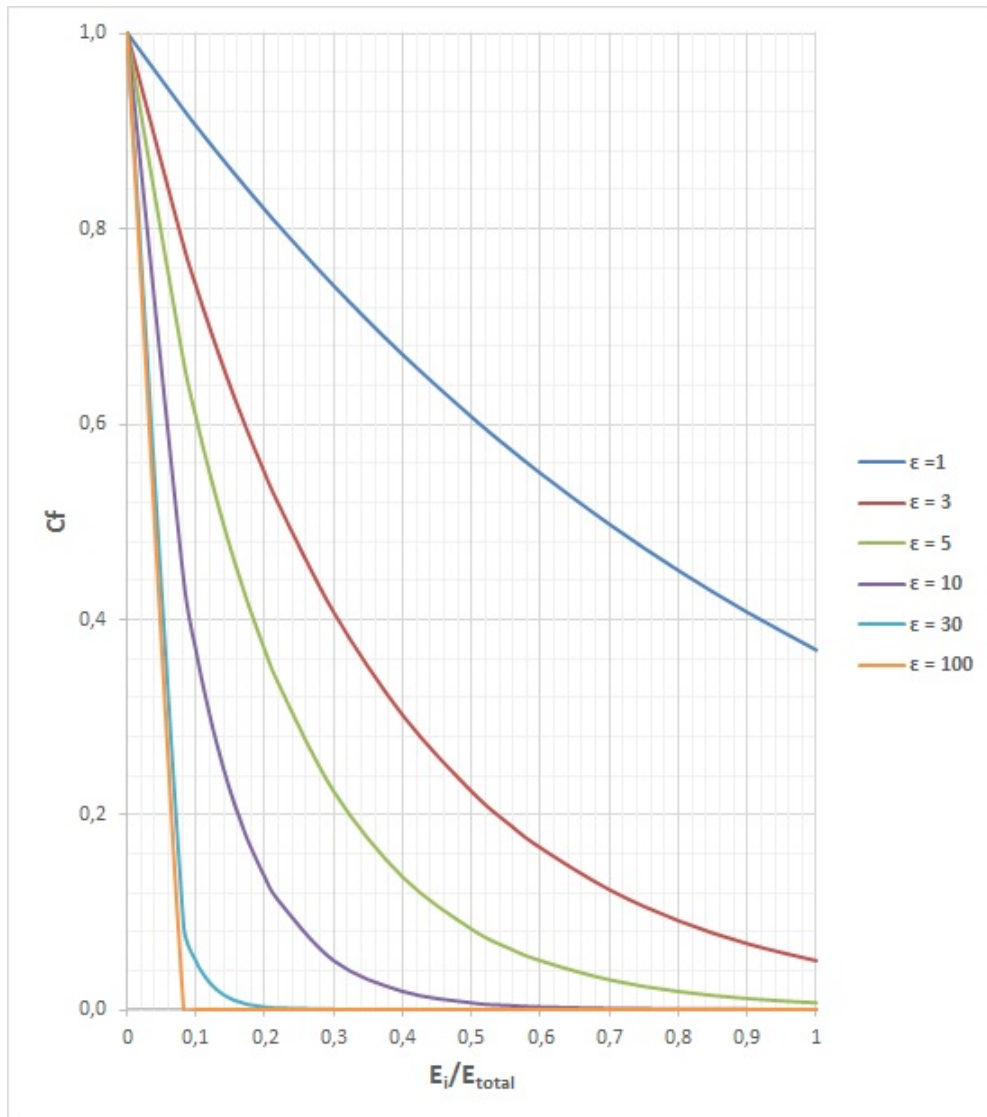


Figura 4.4: Representação de  $C_f$  (períodos de ponta e cheia) para diferentes valores de  $\epsilon$

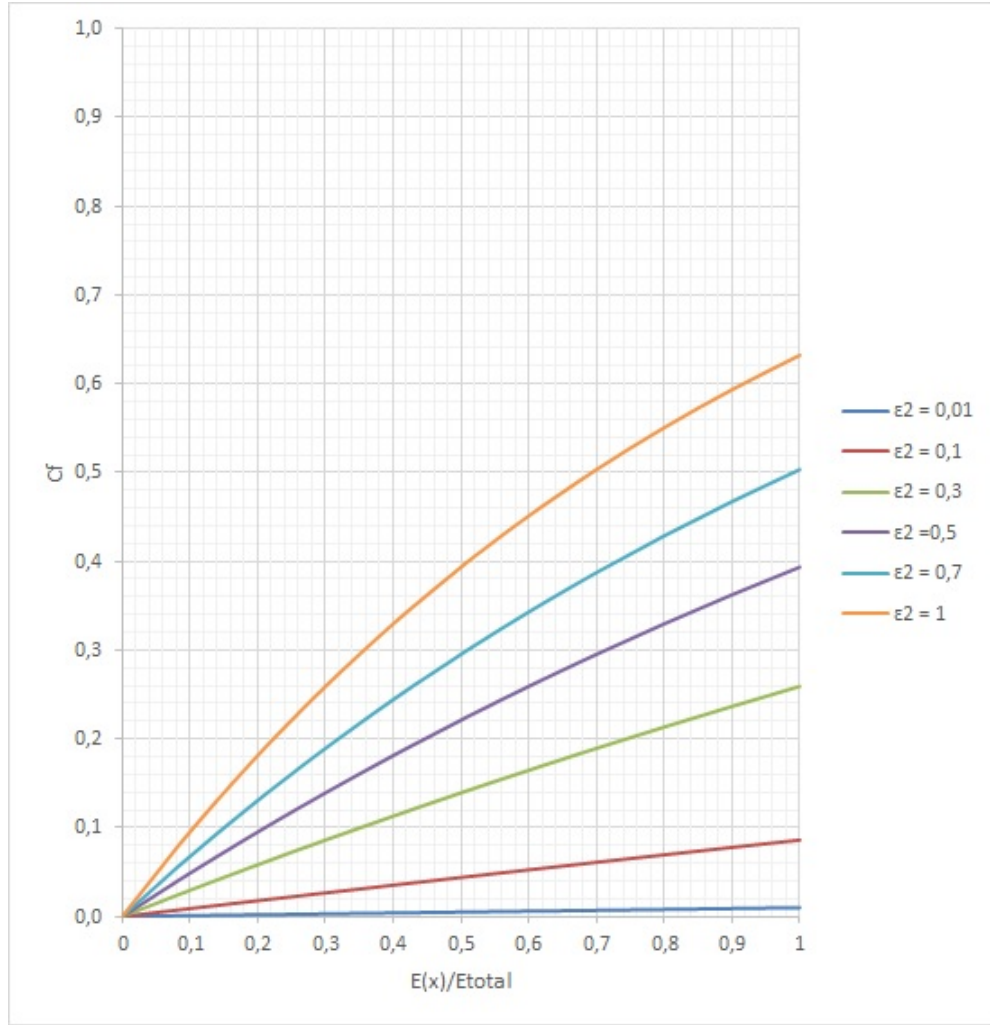


Figura 4.5: Representação de  $C_f$  (períodos de vazio normal e super vazio) para diferentes valores de  $\epsilon_2$

As constantes  $\epsilon$  e  $\epsilon_2$  têm como objetivo refletir o comportamento das curvas do fator  $C_f$  (figura 4.4 e 4.5). Sendo que  $\epsilon$  pode tomar valores entre  $[0,100]$  e  $\epsilon_2$  entre  $[0,1]$ . Na figura 4.4 é apresentado um gráfico com os valores de  $C_f$  para os períodos de ponta e cheias. Variando o valor de  $\epsilon$  em função do volume de energia elétrica consumido nesses períodos., conclui-se que para valores de  $\epsilon$  superiores a 20 o fator de concessão é próximo de zero, sendo que neste caso o agente  $Ag_r$  apresenta uma estratégia de "tudo ou nada". Para valores de  $\epsilon$  inferiores a 1 o fator de concessão é muito elevado, ou seja, o agente  $Ag_r$  apresenta uma estratégia pouco ambiciosa. Para valores compreendidos entre 1 e 20, a estratégia de  $Ag_r$  é ambiciosa.

Na figura 4.5 é apresentado um gráfico com os valores de  $C_f$  para os períodos de vazio normal e super vazio, variando o valor de  $\epsilon_2$  em função do volume de energia elétrica consumida. Conclui-se que quanto menor o valor de  $\epsilon_2$  maior será o  $C_f$ , ou seja, quanto maior for o valor de  $\epsilon_2$  menos ambicioso será o agente  $Ag_r$ .

No caso de estudo da presente dissertação, os valores de  $\varepsilon$  e  $\varepsilon_2$  são fixos em 10 e 0,5. A escolha residiu nestes valores, visto ambos apresentarem uma curva de  $C_f$  referente a uma posição ambiciosa por parte do agente  $Ag_r$ .

### 4.4 Conclusão

Este capítulo descreve os protocolos e estratégias de negociação implementado no simulador desenvolvido no âmbito da presente dissertação. Na primeira parte, foi efetuada a descrição do protocolo de rede de contratos com uma única iteração e do protocolo iterativo de rede de contratos. Na segunda parte, descreveram-se as estratégias de negociação dos agentes comercializadores (retalhistas) e do o agente consumidor. No caso dos agentes comercializadores, optou-se por uma estratégia de concessão baseada em volumes de energia, apresentando dois fatores de concessão ( $C_f$ ) diferentes, de acordo com os períodos que se pretendia negociar. Para o agente consumidor, optou-se por uma estratégia de corte, baseada na PAC.



## CASO DE ESTUDO

### 5.1 Introdução

O caso de estudo envolve a negociação de um contrato bilateral usando o protocolo iterativo de rede de contratos. Considera-se um agente consumidor (fábrica *KERION Ceramics*) e quatro agentes comercializadores de energia (retalhistas). As partes envolvidas negociam a contratação de tarifas para quatro períodos diários (pontas, cheias, vazio normal e super vazio). O consumidor está interessado em comprar eletricidade aos comercializadores, efetuando um pedido de proposta, ao qual os comercializadores respondem enviando uma contraproposta, iniciando-se assim a negociação. Esta tem várias iterações levando à escolha de apenas um comercializador, aquele que apresenta a proposta mais vantajosa para o consumidor.

O capítulo apresenta as funcionalidades e a interface gráfica do simulador SMCBE. De seguida, descreve a fábrica *KERION Ceramics* com a finalidade de compreender o seu funcionamento, matéria prima produzida e o seu perfil de consumo. Por fim, é apresentado os resultados do caso de estudo, de forma a encontrar o comercializador ideal para celebrar um novo contrato de energia. Na análise de resultados é efetuada uma comparação económica entre o novo e o antigo contrato, sendo que o objetivo da *KERION Ceramics* passa por reduzir os custos face ao contrato anterior.

### 5.2 SMCBE: Simulador Multiagente de Contratos Bilaterais de Energia

O SMCBE foi desenvolvido através da linguagem de programação JAVA, utilizando a plataforma JADE (secção 3.2.3.1) e com base no protocolo iterativo de rede de contratos.

Possui uma *interface* gráfica simples (descrita na secção 5.2.1), onde o utilizador pode definir uma série de instruções e visualizar os resultados obtidos. A grande vantagem do simulador consiste em permitir a comunicação entre mais do que dois agentes, simulando a realidade existente desde a liberalização dos MEE.

O SMCBE foi desenvolvido como ferramenta de apoio à decisão na contratação de energia entre vários agentes. No caso de estudo da presente dissertação, o simulador permite a negociação entre cinco agentes (um consumidor industrial e quatro comercializadores), sendo que os agentes comercializadores não têm qualquer informação sobre os preços praticados pelos seus concorrentes. A realização da negociação tem uma data preestabelecida, caso esta não seja cumprida a negociação termina sem qualquer acordo.

O simulador permite que os agentes comercializadores e o agente consumidor explorem diferentes abordagens e estratégias de negociação, com o objetivo de chegar a um acordo que seja benéfico para todas as partes. Desta forma, o simulador é um grande apoio à decisão na contratação de energia.

### 5.2.1 Interface Gráfica

A *interface* gráfica permite a interação entre o utilizador e o simulador. Nesta secção é descrito todo o processo de funcionamento da mesma. De realçar, que a *interface* gráfica tem como idioma o inglês, para que possa ser utilizada por um maior número de utilizadores possível.

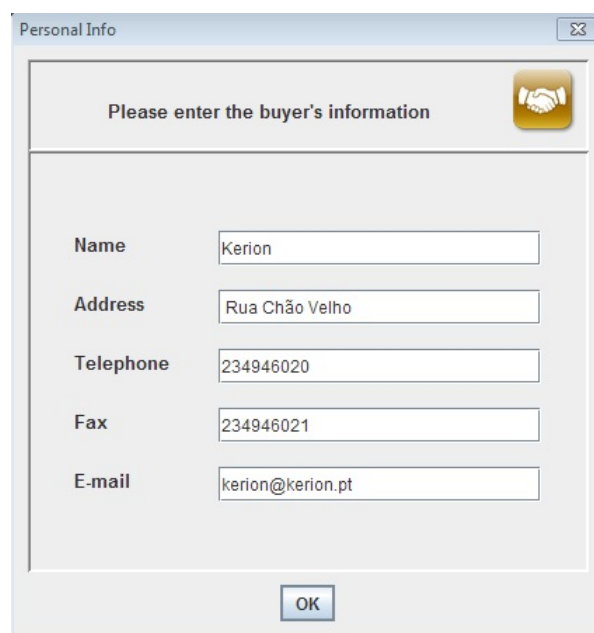


Figura 5.1: Janela com informação do agente consumidor

Ao iniciar o simulador são apresentadas cinco janelas iniciais, denominadas de *Personal Info*, com a informação pessoal de cada agente: nome, morada, telefone, fax e e-mail. Esta informação pode ser alterada caso não esteja correta ou por opção do utilizador. Após completar ou verificar a informação, apenas se tem de clicar no botão OK para prosseguir. A figura 5.1 apresenta uma das cinco janelas, pois todas têm a mesma configuração, apenas a informação contida é diferente.

De seguida, a janela intitulada *System* (figura 5.2) contém a informação dos cinco agentes envolvidos na negociação e permite a sua seleção. No topo da janela encontra-se uma barra de menu com duas opções: *File* e *Negotiation*. A primeira opção permite ao utilizador sair do simulador (*File* -> *Exit*). A segunda opção permite a seleção dos agentes para avançar para a negociação (*Negotiation* -> *Select Parties*).

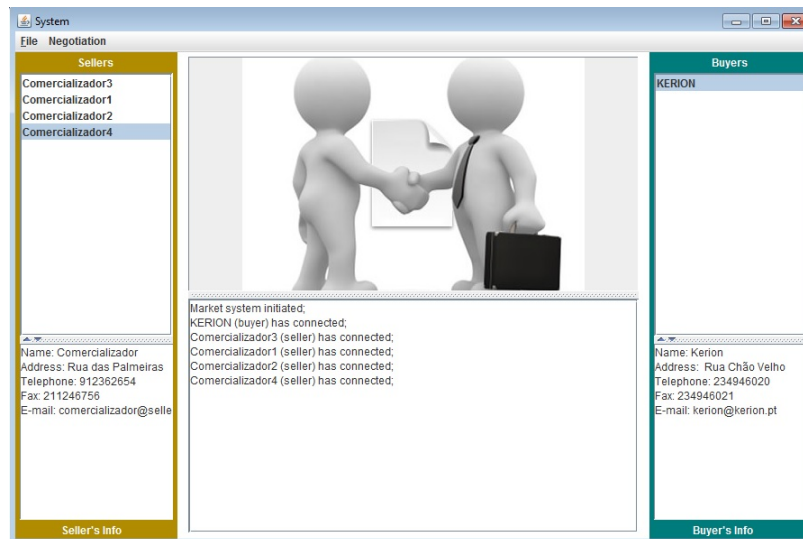


Figura 5.2: Ambiente gráfico do simulador

A figura 5.3 apresenta as janelas do consumidor e de um dos agentes comercializadores. Estas permitem realizar as ações relativas à negociação entre os agentes, tais como definir os preços, volumes a enviar, os limites de preço, limites de volume para se manterem em negociação e a data na qual finda a negociação.

Como se pode observar na figura 5.3, as janelas dos agentes comercializadores contêm uma barra de menu superior com as seguintes opções: *File*, *Action* e *Negotiation*. Ao selecionar a primeira opção é fechada a janela do agente (*File* -> *Exit*). A segunda opção (*Action* -> *Publicise*) permite o envio do perfil do agente consumidor, nomeadamente o consumo (volume) e no caso dos agentes comercializadores os preços iniciais de energia para o volume solicitado por parte do agente consumidor. A figura 5.4 ilustra o perfil do consumidor e a proposta inicial de um agente comercializador.

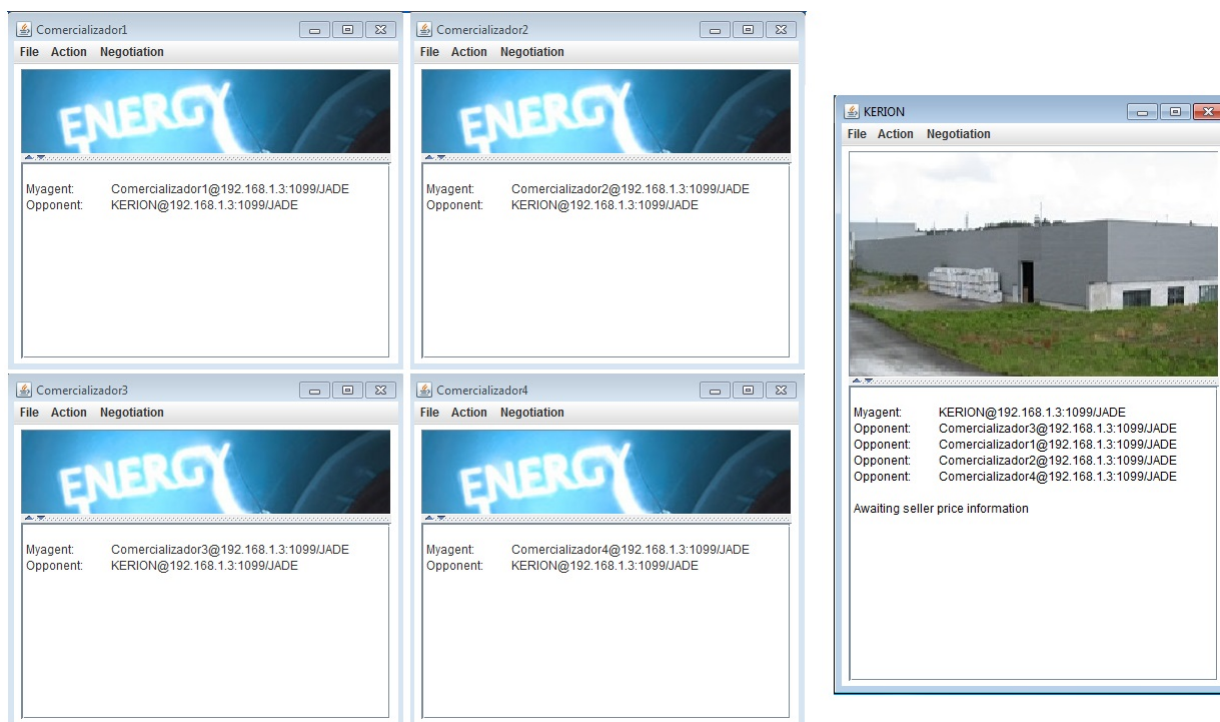


Figura 5.3: Janelas referentes aos agentes comercializadores e ao agente consumidor

Figure 5.4 displays two windows related to the consumer profile and the commercializer's initial prices.

**(a) Agente consumidor (Profile window):** This window allows the user to enter profile values. It features a dropdown menu set to 'Industrial' and a table for entering period loads and energy values.

Period load	Energy (MWh)
Period 1:	100.52
Period 2:	268.13
Period 3:	73.35
Period 4:	36.94

**(b) Agente comercializador 2 (Publicity window):** This window allows the user to enter values for publicity. It features a table for entering period loads and prices.

Period load	Price (€/MWh)
Period 1:	75.08
Period 2:	68.46
Period 3:	59.02
Period 4:	46.96

(a) Agente consumidor

(b) Agente comercializador 2

Figura 5.4: Janelas referentes ao perfil de consumo do agente consumidor e aos preços iniciais dos agentes comercializadores

O passo seguinte consiste em avançar para pré negociação. Na figura 5.3, na barra de menu, ao seleccionar a opção *Negotiation -> Pre-negotiation*, visualiza-se quatro opções:

- *Define targets*: ao seleccionar esta opção abre-se uma janela (figura 5.5) que permite a inserção dos preços iniciais e volumes no caso do agente consumidor. Em relação aos agentes comercializadores apenas permite a inserção dos preços iniciais, visto que no presente caso de estudo se assume que os comercializadores têm capacidade de fornecer qualquer quantidade de energia (volume).

The figure shows two side-by-side screenshots of a software window titled 'Targets'. Both windows have a sub-header 'Initial Values (Targets)' and a handshake icon. At the bottom of each window are 'OK' and 'Continue' buttons.

(a) Agente consumidor: The window contains a table with three columns: 'Period load', 'Price (€/MWh)', and 'Energy (MWh)'. It has four rows for 'Period 1' through 'Period 4'. The values entered are: Period 1 (72.89, 105.52), Period 2 (68.46, 268.13), Period 3 (59.02, 73.35), and Period 4 (46.96, 36.94).

(b) Agente comercializador 2: The window contains a table with two columns: 'Period load' and 'Price (€/MWh)'. It has four rows for 'Period 1' through 'Period 4'. The values entered are: Period 1 (75.08), Period 2 (68.46), Period 3 (59.02), and Period 4 (46.96).

(a) Agente consumidor

(b) Agente comercializador 2

Figura 5.5: Janela referente à pré-negociação (*Define targets*)

- *Define limits*: ao seleccionar esta opção abre-se uma janela (figura 5.6) que permite a inserção dos limites admissíveis para a negociação. O agente consumidor tem a possibilidade de definir os preços e o volumes mínimos de energia admissíveis. Os agentes comercializadores têm a possibilidade de definir os preço mínimos, visto que aceitam qualquer proposta de volume recebida.

The figure shows two side-by-side screenshots of a software window titled 'Limits'. Both windows have a sub-header 'Limits: Fall Back Position' and a handshake icon. At the bottom of each window are 'OK' and 'Continue' buttons.

(a) Agente consumidor: The window contains a table with two columns: 'Period load' and 'Energy min (MWh)'. It has four rows for 'Period 1' through 'Period 4'. The values entered are: Period 1 (102.14), Period 2 (285.86), Period 3 (72.23), and Period 4 (36.56).

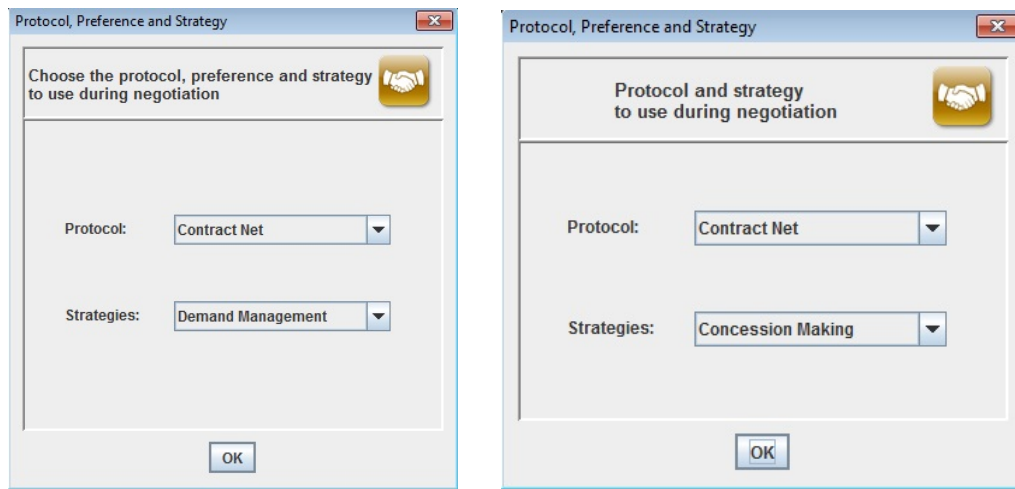
(b) Agente comercializador 2: The window contains a table with two columns: 'Period load' and 'Energy min (MWh)'. It has four rows for 'Period 1' through 'Period 4'. The values entered are: Period 1 (102.14), Period 2 (285.86), Period 3 (72.23), and Period 4 (36.56).

(a) Agente consumidor

(b) Agente comercializador 2

Figura 5.6: Janela referente à pré-negociação (*Define limits*)

- *Define Preferences and Strategies*: ao selecionar esta opção abre-se uma janela (figura 5.7) que permite selecionar as estratégias e protocolos usados pelos agentes.



(a) Agente consumidor

(b) Agente comercializador 2

Figura 5.7: Janela referente à pré-negociação (*Define Preferences and Strategies*)

- *Define Deadline*: ao selecionar esta opção abre-se uma janela (figura 5.8) que permite definir o limite máximo temporal para o qual o utilizador se mantém em negociação.

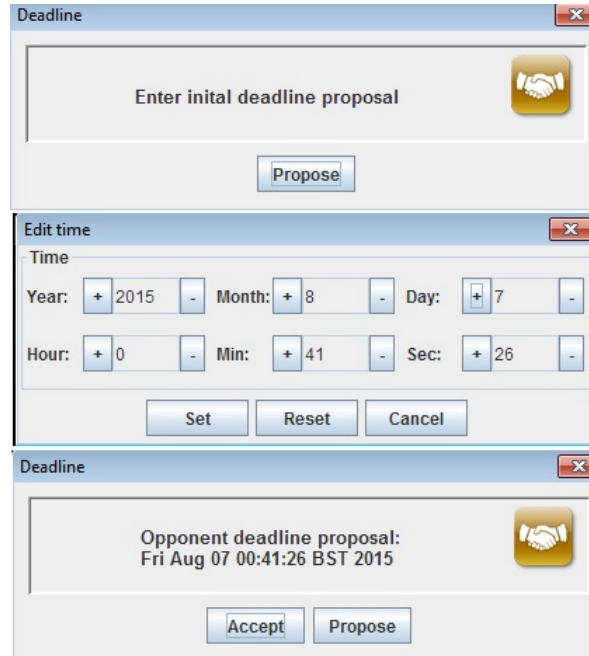


Figura 5.8: Janela referente à definição do prazo negocial

Após completar o processo de preenchimento dos dados das opções da pré-negociação, é necessário selecionar a opção *Negotiation* na barra de menu das janelas da figura 5.3 em todos os agentes. Os resultados da simulação podem ser visualizados nas janelas da figura 5.3, nomeadamente as propostas enviadas e recebidas por cada um dos agentes.

### 5.3 Descrição da Fábrica *KERION Ceramics*

Os dados utilizados no caso de estudo pertencem à fábrica *KERION Ceramics*, cujo o setor económico é a cerâmica, situada na localidade de Póvoa do Valado no distrito de Aveiro.



Figura 5.9: Vista exterior da *KERION Ceramics*

Devido a ter sido fundada em 2009, ainda não se encontra na "velocidade de cruzeiro" no que diz respeito à produção. Desta forma a sua produção é adequada de acordo com as encomendas solicitadas por parte dos consumidores. A fábrica tem 3 linhas de produção dos seguintes tipos de material:

- **Mosaico:** pastilhas de grés porcelânico vidradas obtidas por mono prensagem multicamada, cozidas a 1200°C e confeccionadas com pontos de cola, garantindo a solidez, flexibilidade e facilidade de aplicação;
- **Modelo 20:** Inspirado nos cimentos hidráulicos, com cores base e decors, de formato 20x20 cm;
- **Flat:** grés porcelânico laminado, com 3,5 mm de espessura, em placas de 300x100 cm, reforçadas com tecido de fibra de vidro.



Figura 5.10: Material produzido na *KERION Ceramics*

Na tabela 5.1 estão indicadas as áreas da fábrica. A área da fábrica é de  $9864 \text{ m}^2$ , sendo composta por uma zona de escritórios, uma zona de Serviços (PT, QGBT's, AVAC), uma nave onde está localizado: o armazém, os silos (armazenamento da moagem para o fabrico do Mosaico e Modelo 20) e as 3 linhas de produção (Mosaico, Modelo 20 e Flat).

Zona	Descrição
A	Escritórios
B	Serviços
C	Silos
D	Linha de produção Mosaico
E	Linha de produção Modelo 20
F	Linha de produção Flat
G	Escolha do material
H	Armazém

Tabela 5.1: Descrição da planta da fábrica

A linha de produção de Mosaico é constituída por 2 prensas onde a moagem é prensada. Na fase seguinte é efetuada a coloração do material, para que este seja colocado no forno para secagem (corresponde a toda área a vermelho na zona D). Na fase final é realizada a seleção e embalamento do material (zona G). No caso do Modelo 20, apenas há uma prensa. Após o processo de prensagem recebe um tratamento aquoso na linha para que posteriormente seja permitida a sua secagem. Esta é executada no forno da linha de produção de mosaico (zona D), necessitando o material ser transportado da zona E para a zona D. Na fase final, efetua-se a escolha e embalamento (zona G). De notar, que a linha de produção do Flat é diferente das duas explicadas anteriormente. Esta linha não possui prensas, devido ao material já ser comprado prensado. Logo, nesta linha apenas se realiza o corte e embalamento do material. Na figura 5.11 é possível visualizar a planta da fábrica.



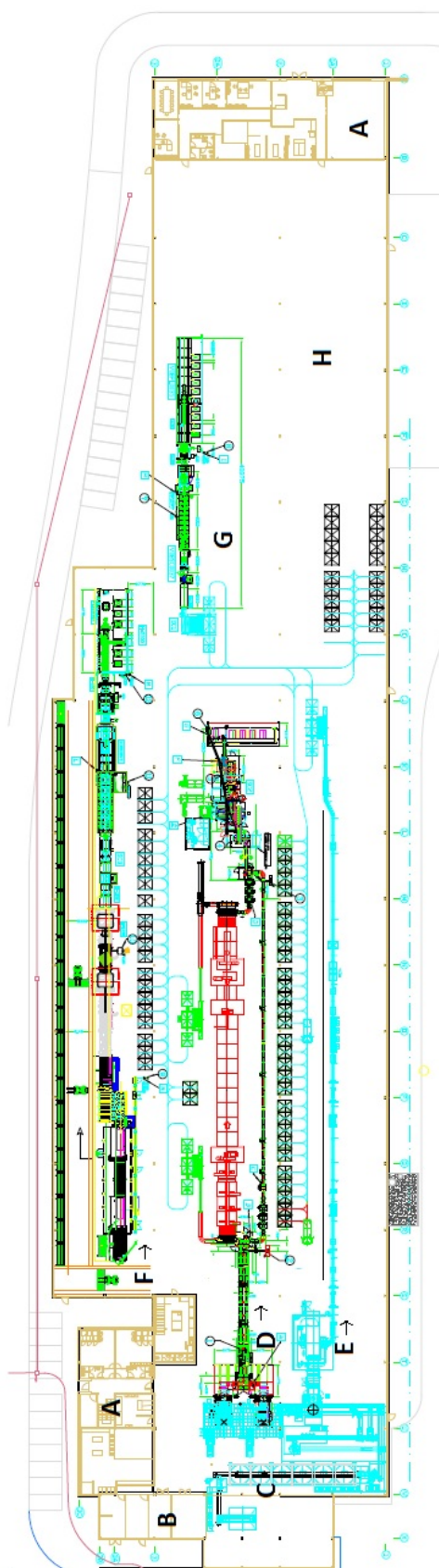


Figura 5.11: Planta da fábrica *KERION Ceramics*

As fontes de energia necessárias para manter o funcionamento da produção e serviços são a eletricidade e o gás (forno de secagem). O fornecimento de energia elétrica da fábrica é realizado em média tensão (15 kV), tendo esta um posto de transformação. O caso de estudo, tem como foco principal os equipamentos que funcionem eletricamente, como os motores que executam a ventilação dos fornos, os dois motores de aspiração das moagens, os motores que possibilitam a movimentação da matéria prima ao longo de todo o tapete rolante na linha de produção, a iluminação e o AVAC. De realçar, que não existe nenhum sistema de iluminação inteligente, sendo este gerido pelos operários, de acordo com o seu bom senso.

## 5.4 Perfil de Consumo

O perfil de consumo relativo ao ano de 2014 apresentado na figura 5.12 é irregular, devido ao facto de fábrica não ter uma produção continua ao longo do ano, produzindo apenas quando há encomendas. Outro fator a considerar é o encerramento da fábrica duas semanas no mês de Julho, uma no mês de Agosto e uma no mês de Dezembro. O horário de funcionamento nos dia úteis é das 6h às 17h quando há produção e das 8h às 17h quando não há produção.

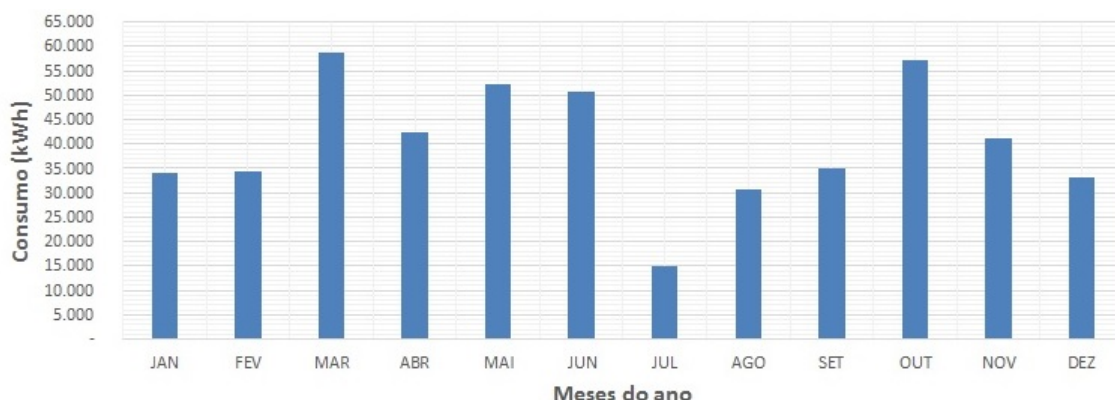


Figura 5.12: Perfil de consumo de 2014 da fábrica *KERION Ceramics*

Como o objetivo da negociação entre o consumidor e os comercializadores é a contratação de quatro tarifas para períodos distintos, a figura 5.13 mostra o volume de energia consumido nesses períodos. Cada um dos períodos considera intervalo de horas diferentes, sendo que estes se alteram para os dias de semana, sábado ou domingo. (ver Anexo A.1).

Ao analisar a figura 5.13, conclui-se que os períodos de maior consumo são os de ponta e de cheias, visto que são os períodos relativos ao horário laboral. O consumo elétrico na fábrica deve-se a três tipos de equipamentos: motores elétricos, iluminação e AVAC. A figura 5.14, apresenta o consumo de cada um dos equipamentos por período horário.

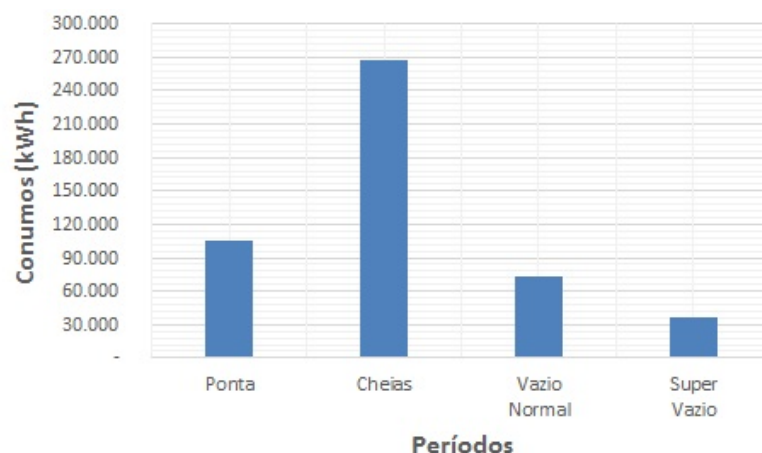


Figura 5.13: Perfil de Consumo de 2014 por período da *KERION Ceramics*

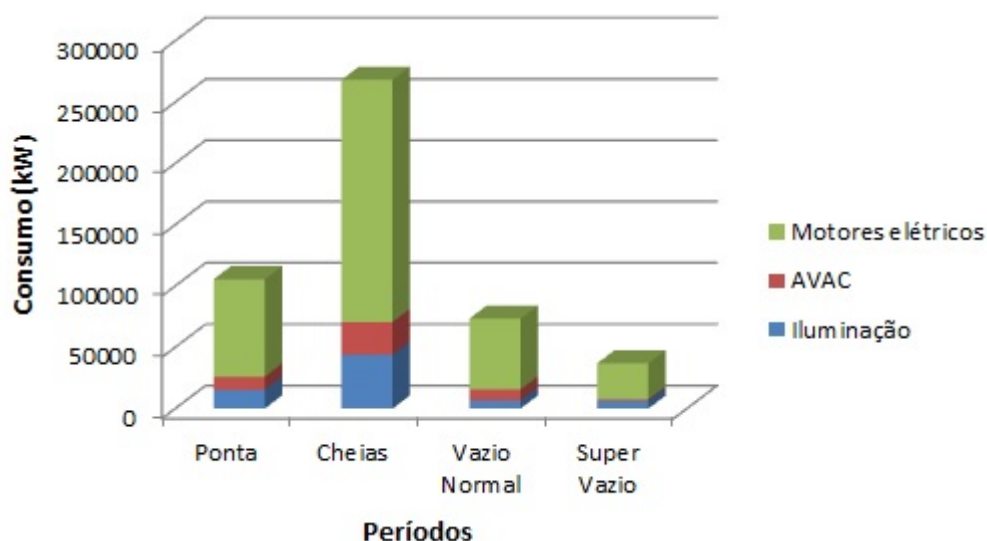


Figura 5.14: Perfil de consumo de 2014 da *KERION Ceramics*, por tipo de equipamento elétrico em cada período

As linhas de produção são os maiores consumidores de energia elétrica, sendo os motores elétricos responsáveis por cerca de 75% da fatura de energia. O sistema de iluminação é constituído fundamentalmente por lâmpadas fluorescentes, sendo responsável por cerca de 15% do consumo. Por último, o sistema AVAC é responsável por cerca de 10% do consumo.

A tabela 5.2 apresenta a tarifa paga e o consumo de energia por período no ano de 2014. Considerando os valores indicados na tabela 5.2, a tabela 5.3 apresenta os valores pagos referentes ao consumo de energia ativa, taxas pagas por acesso à rede, energia reativa, potência contratada, potência nas horas de ponta e os respectivos impostos (ver também o Anexo A.4).

Período	Tarifa (€/MWh)	Consumo total de 2014 (MWh)	Consumo (%)
Ponta	72,89	105,52	21,81
Cheias	68,46	268,13	55,41
Vazio normal	59,02	72,35	15,16
Super Vazio	46,96	36,94	7,63

Tabela 5.2: Tarifas e consumos por período no ano de 2014

Tipo de consumo	Custo (€)
Energia ativa	32.111,26
Taxas de acesso às redes em Média Tensão	268,13
Energia reativa	13.075,12
Potência (Contratada e Horas de ponta )	18.168,56
Impostos	507,32
<b>Total</b>	<b>68.514,95</b>

Tabela 5.3: Custo dos diversos tipos de consumo em 2014

## 5.5 Análise dos Resultados do Caso de Estudo

Esta secção tem como objetivo analisar os resultados do caso de estudo obtidos através do simulador SMCBE, considerando-se cinco agentes: um consumidor industrial (*KERION Ceramics*) e quatro comercializadores de energia. A fábrica negociou com os quatro comercializadores em simultâneo as tarifas para 4 períodos (ponta, cheias, vazio normal e super vazio), tendo escolhido aquele que lhe apresentou a proposta comercial mais vantajosa.

De realçar, que a negociação teve 3 iterações (figura 5.15). Na primeira iteração, o consumidor enviou o seu perfil de consumo para todos os comercializadores. De seguida, os comercializadores responderam com propostas de preços para os períodos em causa.

Na segunda iteração, o consumidor analisou as propostas comerciais apresentadas e adotou uma estratégia de corte (subsecção 4.3.1), reduzindo os volumes em todos os períodos, e garantido sempre as condições mínimas para manter o nível de produção. Posteriormente enviou os novos volumes para os comercializadores. Após a recepção dos novos volumes, os comercializadores de acordo com a estratégia de concessão baseada em volumes de energia (subsecção 4.3.2) ajustaram e enviaram os preços reformulados.

Na terceira iteração, após a recepção dos preços reformulados, o consumidor através da função custo implementada no simulador (subsecção 4.3.1) selecionou o comercializador que apresentou a proposta comercial mais vantajosa. Este processo concluiu-se com o

envio de uma mensagem ao comercializador vencedor com o intuito de celebrar um contrato bilateral de energia. Em simultâneo, foi enviada uma mensagem de abandono das negociações para os restantes comercializadores. A figura 5.15 esquematiza as iterações realizadas durante a negociação.

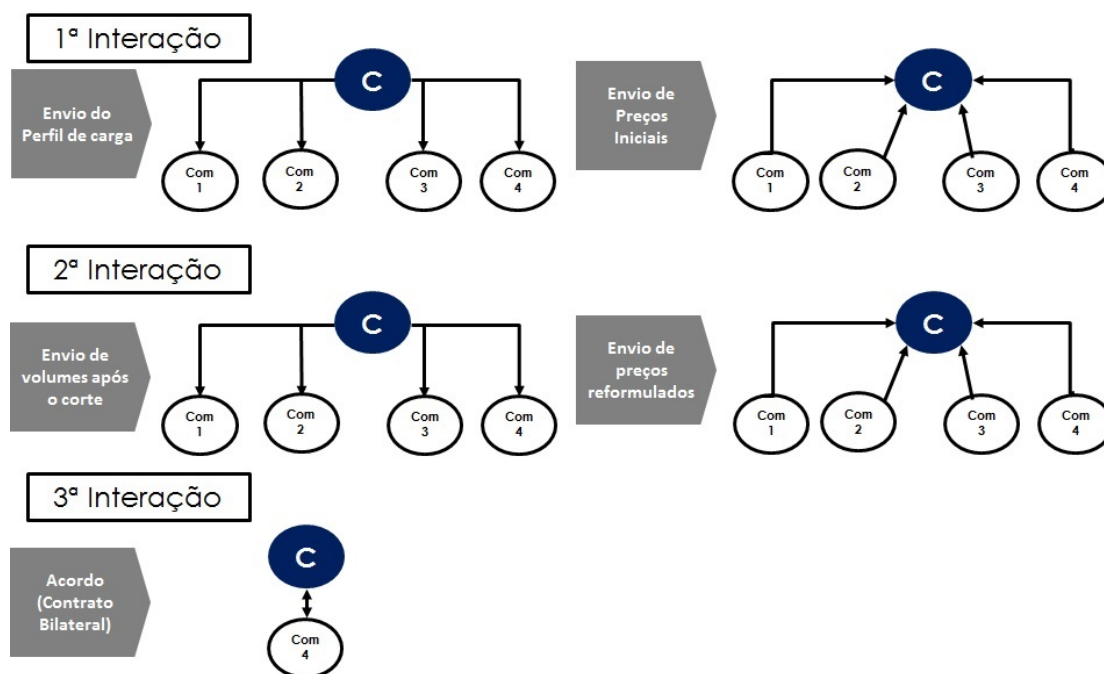


Figura 5.15: Esquema de negociação do caso de estudo

### 5.5.1 Preços e Volumes

A fábrica *KERION Ceramics* é alimentada em média tensão (15 kV), sendo as tarifas por período negociadas diretamente com os comercializadores de energia, não existindo um preço fixo para cada uma delas. Apenas as tarifas por acesso à rede têm um valor fixo por período (ver Anexo A.4). Logo, a competição entre os comercializadores é elevada, visto que apenas um deles tem a possibilidade de chegar a acordo com o consumidor.

#### 5.5.1.1 Consumidor: *KERION Ceramics*

A tabela 5.4 apresenta informação disponibilizada pela *KERION Ceramics*, nomeadamente o volume de energia consumida e o volume mínimo para manter o nível de produção. Os volumes de energia enviados pelo consumidor na primeira iteração são os indicados nessa tabela.

Nesta unidade fabril existem 3 tipos de equipamentos elétricos responsáveis pelo consumo, sendo eles os motores elétricos, iluminação e AVAC. Apenas na iluminação e AVAC é possível a redução do consumo sem qualquer tipo de investimento.

	Consumidor ( <i>KERION Ceramics</i> )	
Período	Volume (MWh)	Volume mínimo (MWh)
Ponta	105,52	102,14
Cheias	268,13	258,86
Vazio normal	72,35	72,23
Super Vazio	36,94	36,56

Tabela 5.4: Valores iniciais da *KERION Ceramics*

Os valores máximos de redução de volume admissíveis por tipo de equipamento a utilizar na estratégia de corte são os seguintes:

- **Sistema de iluminação:** redução que pode ir até aos 15% nos períodos de ponta e cheias, 10% no vazio normal e 5% no super vazio;
- **Sistema AVAC:** redução que pode ir até aos 10% nos períodos de pontas e cheias, 12% no vazio normal e 3% no super vazio.

Os valores de redução de consumo nos sistemas acima considerados não têm qualquer influência na produção e conforto dos colaboradores. De forma garantir o conforto e produção, as reduções máximas admissíveis no consumo total anual nos períodos são: ponta (3,2%), cheias (3,5%), vazio normal (1,5%) e super vazio (1%). Neste estudo, considera-se que o valor de redução do consumo em cada período só atinge 85 % do máximo admissível, garantido assim qualquer adversidade.

#### 5.5.1.2 Comercializadores

Considera-se que um dos comercializadores (Comercializador 1) tem contrato firmado com o consumidor. Todos os outros comercializadores não têm acesso aos valores pagos por tarifa nos diferentes períodos, embora tenham uma noção clara dos preços praticados para os volumes solicitados, visto que todos atuam no mesmo mercado.

Nas tabelas 5.5 e 5.6, estão representados os preços iniciais (proposta comercial da primeira iteração) e os preços mínimos admissíveis para cada um dos períodos por comercializador. Os aumentos e/ou reduções dos preços das propostas comerciais têm como referência o preço da tarifa paga atualmente pelo consumidor (ver tabela 5.2). Da análise comparativa das diversas propostas iniciais podemos observar o seguinte:

- **Comercializador 1:** nos períodos de ponta e cheias o preço da tarifa é superior em 2%, e nos restantes períodos inferiores em 1%;
- **Comercializador 2:** apenas aumenta o preço da tarifa no período de ponta em 3% e mantém os preços nos restantes períodos;

- **Comercializador 3:** no período de ponta reduz o preço em 1%, no de cheias aumenta o preço em 2%, e mantem o preço nos restantes períodos;
- **Comercializador 4:** no período de ponta aumenta o preço em 3%, no período de cheias reduz o preço em 2%, no período de super vazio reduz o preço em 1% e mantem o preço no período de vazio normal.

	Comercializador 1		Comercializador 2	
Período	Preço (€/MWh)	Limite (€/MWh)	Preço (€/MWh)	Limite (€/MWh)
Ponta	74,35	69,25	75,08	71,43
Cheias	69,83	65,04	68,46	66,41
Vazio normal	58,43	56,07	59,02	57,25
Super Vazio	46,49	44,61	46,96	45,55

Tabela 5.5: Preços iniciais e limites mínimos do Comercializador 1 e Comercializador 2

	Comercializador 3		Comercializador 4	
Período	Preço (€/MWh)	Limite (€/MWh)	Preço (€/MWh)	Limite (€/MWh)
Ponta	72,16	69,25	75,08	69,25
Cheias	69,83	65,72	67,09	65,72
Vazio normal	59,02	56,07	58,43	56,66
Super Vazio	46,96	44,61	46,96	44,61

Tabela 5.6: Preços iniciais e limites mínimos do Comercializador 3 e Comercializador 4

Os limites mínimos apresentados nas tabelas 5.5 e 5.6, correspondem aos valores mínimos que os comercializadores consideram válidos para fechar a negociação.

### 5.5.2 Resultados finais

Nesta secção descreve-se a evolução do processo negocial, de acordo com as três iterações representada na figura 5.16.

#### 1. Primeira iteração

- a) **Envio do perfil de carga:** o consumidor envia aos comercializadores um pedido de proposta comercial (ver tabela 5.4) de acordo com o seu perfil de consumo;

- b) **Envio de preços iniciais:** os comercializadores recebem o pedido e enviam as suas propostas iniciais (tabelas 5.5 e 5.6).

## 2. Segunda iteração

- a) **Envio de volumes após o corte:** devido aos preços apresentados nas propostas comerciais não irem de encontro ao objetivo do consumidor, esta adota a estratégia de corte (subsecção 4.3.1). O corte de volume efetuado representa no período de ponta 3,2% do volume inicial, no período de cheias 3,5 %, no período de vazio normal 1,5 % e no período de super vazio 1,1%;
- b) **Envio de preços reformulados:** face ao novo perfil de consumo recebido, os comercializadores enviam uma proposta reformulada de preços. Nesta fase, os comercializadores utilizam uma estratégia baseada na concessão de volumes (subsecção 4.3.2). Os factores de concessão utilizados são de 11,4% no período de ponta, 0,4% no período de cheias, 7,3% no período de vazio normal e de 1,% no período de super vazio. Realça-se que o período de cheias corresponde a mais de metade do consumo total. Neste período, os comercializadores não demonstram interesse em ceder nos preços, ou seja, utilizam um fator de concessão baixo em relação aos restantes períodos.

## 3. Terceira iteração

- a) **Acordo:** após a recepção dos preços reformulados, o consumidor, através da função custo (subsecção 4.3.1) seleciona o comercializador que apresenta a proposta comercial mais vantajosa. No presente caso de estudo, o comercializador que apresenta o melhor benefício em termos de custo é o Comercializador 4.

O período de cheias representa mais de metade do consumo total da fábrica, sendo o período que assume maior importância para o consumidor. Logo, uma boa proposta de um agente comercializador neste período é uma vantagem em relação à concorrência. Como se pode observar pelos valores apresentados na figura 5.16, neste período o Comercializador 4 foi o único que enviou uma proposta inicial inferior à tarifa de referência (-2%). No caso do Comercializador 1 (detentor do contrato atual), este apresentou um valor superior ao de referência (+2%), tal como o Comercializador 3. Quanto ao Comercializador 2, este apresentou uma proposta igual ao valor de referência.

A figura 5.16 apresenta o resumo de todo o processo negocial entre os cinco agentes. Face aos resultados verifica-se que o SMCBE apresenta como vencedor da negociação em estudo o Comercializador 4.



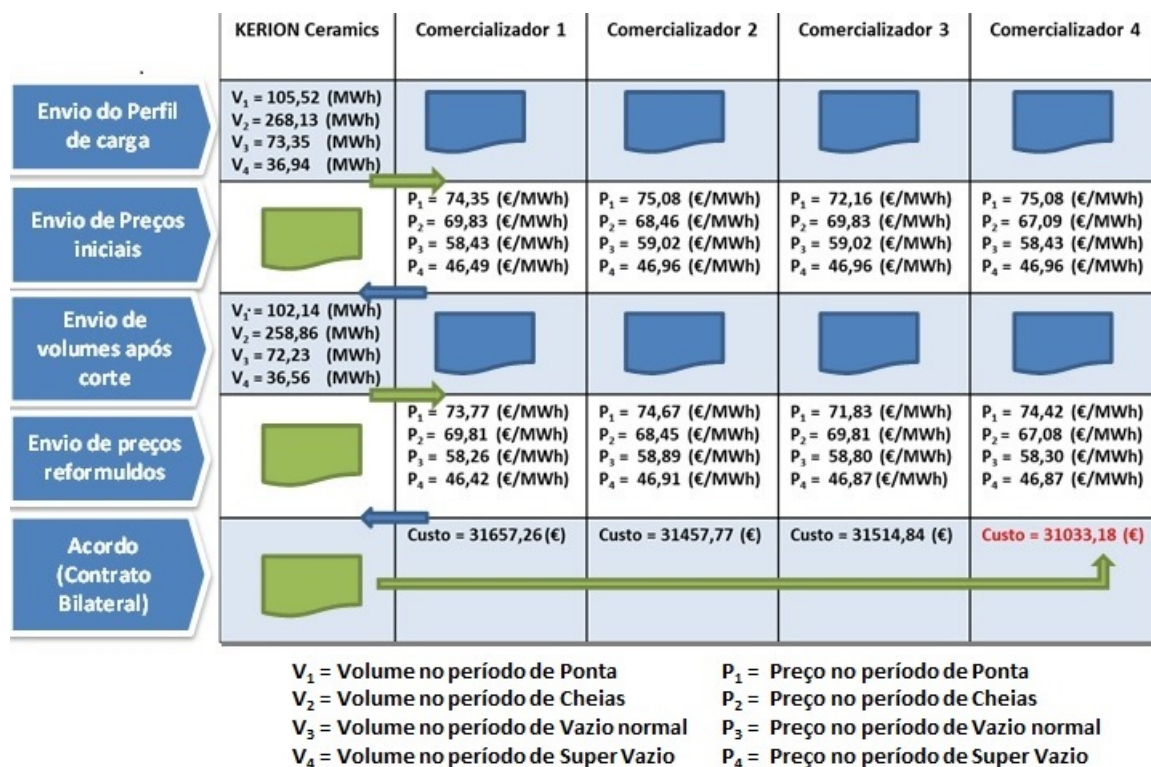


Figura 5.16: Esquema de negociação do caso de estudo

A tabela 5.7 permite comparar a tarifa do contrato atual com a tarifa do novo contrato a celebrar entre o consumidor e o Comercializador 4. Como se pode observar, nomeadamente no período de cheias, a fatura de energia elétrica do consumidor tem uma redução de 2% face ao contrato atual, compensado uma subida de 2,1% no período de ponta. No período de vazio normal a descida é de 1,2% e no período de super vazio é de 0,2%. Em suma, conclui-se que o novo contrato é uma boa prática em termos de poupança na fatura elétrica.

Período	Tarifa de referência (€/MWh)	Tarifa do novo contrato final (€/MWh)	Poupança (%)
Ponta	74,35	69,25	+2,1%
Cheias	69,83	65,04	-2,0%
Vazio normal	58,43	56,07	-1,2%
Super Vazio	46,49	44,61	-0,2%

Tabela 5.7: Comparação entre a tarifa de referência e a tarifa do novo contrato com o Comercializador 4

Através da análise da tabela 5.8 verifica-se que na sequência da redução dos volumes de energia (nomeadamente nos períodos de ponta, cheias, vazio normal e super vazio), foi

possível induzir uma descida no consumo de energia ativa em cerca de 0,4 %. Devido à taxa de acesso à rede em média tensão estar relacionada com o consumo de energia ativa, a sua diminuição provoca uma descida nesta taxa.

	Contrato anterior (€)	Novo Contrato (€)
<b>Energia ativa</b>	32.111,26	31.033,18
<b>Taxas de acesso à rede</b>	13.075,12	12.648,37
<b>Energia reativa</b>	4.652,69	4.652,69
<b>Potência (Contratada e Horas de Ponta)</b>	18.168,56	18.094,99
<b>Impostos</b>	507,32	507,32
<b>Total</b>	<b>68.514,95</b>	<b>66.936,45</b>

Tabela 5.8: Comparação entre o custo no antigo contrato com o novo

Deve-se no entanto ter em atenção que apesar da redução nos volumes de energia, se assume que o nível de produção se mantém o mesmo durante a vigência do contrato, este fator indica que o valor a pagar pela energia reativa e impostos será o mesmo. Em suma, o uso do é simulador uma importante ferramenta para o apoio a decisões relacionadas com o estabelecimento de contratos no mercado de energia. Após a análise dos resultados, verifica-se que o estudo apresentado permite à fábrica *KERION Ceramics* reduzir o valor total da fatura energética em cerca de 2,3%.

## 5.6 Conclusão

Apresentou-se o simulador desenvolvido no âmbito da dissertação com o seguinte nome: Simulador Multiagente de Contrato Bilateral de Energia (SMCBE). Descreveu-se o seu funcionamento e a sua aplicação a um caso de estudo envolvendo um consumidor (fábrica *KERION Ceramics*) e quatro comercializadores.

De seguida, descreveu-se o funcionamento e o perfil de consumo da *KERION Ceramics* em 2014, com a finalidade de analisar os seus consumos, principais tipos de equipamentos elétricos e os preços do contrato de energia atual.

Por último, foi realizada uma análise aos resultados finais verificando-se que o consumidor consegue um novo contrato com um dos comercializadores (Comercializador 4). A escolha do Comercializador 4 deveu-se ao facto deste apresentar uma última proposta de negociação com um custo inferior aos seus concorrentes, sendo o único comercializador que apresentou a proposta mais reduzida no período de cheias, período em que o consumo é superior a 50%.

Em relação ao novo contrato a celebrar, este apresenta uma poupança na fatura elétrica de 2,3% face ao contrato atual, sendo que o objetivo do consumidor é atingido. Em suma, apesar do Comercializador 4 apresentar uma proposta vantajosa no preço das tarifas face ao contrato atual, a estratégia de corte aplicada pelo consumidor reduz os consumos em todos os períodos. Logo, a redução nos consumos e o novo preço das tarifas reduz a energia ativa, Taxas de acesso à rede em média tensão e a potência nas horas de ponta na nova fatura elétrica.



## CONCLUSÕES

### 6.1 Síntese de resultados

A liberalização do mercado energético provocou um grande impacto no setor elétrico, possibilitando que o cliente final (doméstico ou industrial) escolha livremente o comercializador de energia que apresente um maior benefício económico e melhor qualidade de serviço. O aumento de competitividade entre comercializadores obrigou a um elevado empenho destes, com a finalidade de obter o maior número de clientes. A competitividade existente veio beneficiar todo o setor elétrico, com maior incidência para o consumidor final.

Após a reestruturação do sector energético surgiram vários modelos de estrutura de mercado, como o mercado diário (bolsa), mercado intradiário e os contratos bilaterais. O mercado diário funciona através de licitações de preços (procura) e volumes (oferta) de diversos agentes, sendo o preço de mercado obtido através da intersecção das curvas da procura e oferta. O mercado intradiário é um complemento ao mercado diário, sendo o preço obtido da mesma forma em ambos. Os contratos bilaterais resultam da negociação direta entre um comprador e um vendedor de energia, sendo estas negociadas livremente entre ambos. Devido aos contratos bilaterais serem um dos principais focos da presente dissertação, realizou-se um estudo sobre os modelos de mercado entre 2012 e o primeiro trimestre de 2015, em Portugal, Espanha e MIBEL. Conclui-se que, os contratos bilaterais aumentarem entre 2012 e o primeiro trimestre de 2015, realçando a importância da presente dissertação.

Após a liberalização dos mercados energéticos, colocaram-se inúmeros desafios complexos. A forma encontrada para responder a esses desafios teve como base o desenvolvimento de ferramentas tecnológicas de apoio à decisão. Os SMA têm tido um papel

fundamental devido a possibilitarem a negociação entre agentes autónomos utilizados em diversas plataformas (ex: JADE, JatLite, OAA, ZEUS). Existem vários simuladores computacionais multiagentes, como os referenciados na presente dissertação: EMCAS, NASCEM e SCBE. O simulador desenvolvido na dissertação foi o SMCBE, que tem como base o protocolo iterativo de rede de contratos, a plataforma computacional JADE, e a linguagem de programação JAVA.

As estratégias de negociação têm como finalidade permitir que os agentes definam as suas ambições e exigências no decorrer do processo negocial. Na presente dissertação, as estratégias analisadas foram uma estratégia de corte e três estratégias de concessão: fixa, baseada nas prioridades de itens e a baseada no volume de energia.

O principal objetivo da dissertação consistiu no desenvolvimento do simulador multiagente SMCBE, como ferramenta de apoio à decisão na celebração de um contrato, no caso de estudo entre um agente consumidor (fábrica *KERION Ceramics*) e quatro agentes comercializadores (Comercializador 1, Comercializador 2, Comercializador 3 e Comercializador 4). A estratégia adotada pelo agente consumidor foi uma estratégia de corte e todos os comercializadores optaram por estratégias de concessão baseadas em volumes de energia.

O caso de estudo teve como base o perfil de consumo da fábrica *KERION Ceramics* no ano de 2014 em quatro períodos distintos, tendo a fábrica como principal objetivo negociar um novo contrato com um comercializador que lhe apresente a melhor proposta, ou seja, a de menor custo (Comercializador 4). A negociação permitiu uma poupança na fatura eléctrica de 2,3% face ao contrato atual. Esta redução deve-se à estratégia de corte aplicada pela fábrica que permite uma redução de consumo em todos os períodos, e ao Comercializador 4 que apresentou uma proposta vantajosa no preço das tarifas em relação aos seus concorrentes.

Os resultados finais permitem concluir que o simulador desenvolvido (SMCBE) é uma ferramenta útil no apoio à decisão na contratação bilateral entre vários agentes comercializadores.

## 6.2 Trabalho futuro

O desenvolvimento do SMCBE não permitiu abordar todas as situações e aspetos específicos relativos aos mercados de energia liberalizados. Assim, como trabalho futuro é apresentado alguns tópicos que se deveriam explorar:

- **Novas estratégias:** implementação de novas estratégias no SMCBE para ambos os agentes, como por exemplo estratégias de concessão e PAC (descritas no capítulo 4). Comparação entre as novas estratégias aplicadas com o objetivo de compreender

a que mais beneficia cada um dos agentes. Estas estratégias deverão contemplar penalizações, caso as cláusulas do contrato bilateral não seja cumpridas;

- **Novas entidades de mercado:** a introdução de novas entidades no mercado de energia elétrica acrescentaria uma mais-valia ao processo de negociação. Caso o SMCBE incluísse uma entidade operadora de sistema esta poderia verificar as limitações da rede de transporte e perceber se o acordo bilateral poderia ser celebrado.
- **Integração do SMCBE:** este simulador apenas permite a negociação de contratos bilaterais baseados no protocolo de rede de contratos. Desta forma, a integração do SMCBE no simulador multiagente MAN-REM seria vantajoso na óptica do utilizador, permitindo a negociação de contratos através do protocolo de rede de contratos.





## BIBLIOGRAFIA

- [1] H. Algarvio, F. Lopes e J. Santana. “Multi-agent Retail Energy Markets: Bilateral Contracting and Coalitions of End-use Customers”. Em: *European Energy Market (EEM 2015)* (2015), pp. 1–5.
- [2] F. Bellifemine, G. Caire e D. Greenwood. *Developing Multi-Agent Systems with JADE*. WILEY, 2007.
- [3] B. Casillo e N. Anna. “Criação de Agentes para Apoio a Ambientes de Engenharia de Software”. Em: *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INEP* (2004).
- [4] L. B. da Cruz. “A liberalização do sector da energia, o MIBEL (Mercado Ibérico de Electricidade) e o OMIP (Operador do Mercado Ibérico de Energia - pólo português)”. Em: *Principia* (2008), pp. 83–90.
- [5] EDP. *Briefing - EDP University Challenge 2013*. 2013. URL: [http://www.por.ulusiada.pt/downloads/exterior/concursos/EDPUC\\_FEV13\\_Briefing.pdf](http://www.por.ulusiada.pt/downloads/exterior/concursos/EDPUC_FEV13_Briefing.pdf).
- [6] ERSE. *Liberalização do Setor*. URL: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/liberalizacaodosector/Paginas/default.aspx>.
- [7] ERSE. *Electricidade*. 2009. URL: <http://www.erse.pt/consumidor/Paginas/mudeLETRICIDADE.aspx?master=ErsePrint.master>.
- [8] ERSE. *Mercado Diário*. 2009. URL: <http://www.erse.pt/pt/supervisaodemercados/mercadodeelectricidade/mercadodiario/Paginas/default.aspx>.
- [9] J. Gaspar. “Estratégias de Comercialização de Energia para Negociação Bilateral em Mercados de Energia Eléctrica Multi-Agente”. Tese de mestrado. ISEL, 2012.
- [10] F. for Intelligent Physical Agents (FIPA). “FIPA Contract Net Interaction Protocol”. Em: (2002).
- [11] F. Lopes e H. Coelho. “Strategic and Tactical Behaviour in Automated Negotiation”. Em: *Internal Report, National Research Institute (LNEG), Portugal*, (2010).
- [12] F. Lopes e H. Algarvio. *Customer Load Strategies for Demand Response in Bilateral Contracting of Electricity*. E-Commerce e Web Technologies (15th), 2014, pp. 153–164.
- [13] F. Lopes, N. Mamede, A. Q. Novais e H. Coelho. *A Negotiation Model for Autonomous Computational Agents: Formal Description and Empirical Evaluation*. Vol. 12 (3). Journal of Intelligent e Fuzzy Systems, 2002, pp. 195–212.

- [14] F. Lopes, J. Sousa e H. Coelho. "Negotiation and risk management in multi-agent energy markets". Em: *Internal Report, National Research Institute (LNEG), Portugal*, (2010), p. 7.
- [15] D. Martin, A. Cheyer e D. Moran. "The Open Agent Architecture: A Framework for Building Distributed Software Systems". Em: *Artificial Intelligence Center SRI International* (1999).
- [16] M. North, G. Conzelmann, V. Koritarov, C. Macal, P. Thimmapuram e T. Veselka. "E-LABORATORIES: AGENT-BASED MODELING OF ELECTRICITY MARKETS". Em: *American Power Conference* (2002).
- [17] OMIP. MIBEL. 2012. URL: <http://www.omip.pt/OMIP/MIBEL/tabid/72/language/pt-PT/Default.aspx>.
- [18] J. Paiva. "Redes de Energia Eléctrica - Uma Análise Sistémica". Em: *Lisboa, Portugal: 2ª Ed. IST Press* (2007).
- [19] B. Pereira. "Contratos Bilaterais em Mercados Multi-Agente de Energia Eléctrica: Protocolo de Ofertas Alternadas". Tese de mestrado. ISEL, 2011.
- [20] I. Pereira. "Sistema Multi-Agente para Apoio à Negociação em Mercados de Electricidade". Tese de doutoramento. Dep. de Engenharias, Área de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2004.
- [21] R. Smith. "The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver". Em: *IEEE Transactions on Computers* C-29 (12) (1980), pp. 1104–1113.
- [22] F. Sousa, F. Lopes e J. Santana. "Multi-agent Electricity Markets: a Case Study on Contracts for Difference". Em: *26th Database and Expert Systems Applications (DEXA 2015)* (2015), pp. 86–90.
- [23] J. O. da União Europeia. *DIRECTIVA 2009/72/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 13 de Julho de 2009*. 2009.
- [24] J. Valente e S. Rio. "Implementação de um Sistema Multi-Agente para um Jogo Estratégico de Palavras." Em: *Agentes e Inteligência Artificial Distribuída* (2005), p. 3.
- [25] D. Vidigal, F. Lopes, A. Pronto e J. Santana. "Agent-based Simulation of Wholesale Energy Markets : a Case Study on Renewable Generation". Em: *26th Database and Expert Systems Applications (DEXA 2015)* (2015), pp. 81–85.
- [26] M. Wooldridge e N. R. Jennings. "Intelligent Agents: Theory and Practice". Em: *Knowledge Engineering Review* 10(2) (1995).
- [27] M. Wooldridge, N. R. Jennings e R. Nicholas. "Agent theories, architectures, and languages: a survey". Em: *Intelligent agents. Springer Berlin Heidelberg* (1995), pp. 1–39.
- [28] Z. Zhou, W. Chan e J. Chow. "Agent-based simulation of electricity markets: a survey of tools". Em: *Springer Science+Business Media B.V. 2009* (2009).



## ANEXOS

### A.1 Períodos Média Tensão

Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
De segunda-feira a sexta-feira		De segunda-feira a sexta-feira	
Ponta:	09.30/12.00 h 18.30/21.00 h	Ponta:	09.15/12.15 h
Cheias:	07.00/09.30 h 12.00/18.30 h 21.00/24.00 h	Cheias:	07.00/09.15 h 12.15/24.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Sábado		Sábado	
Cheias:	09.30/13.00 h 18.30/22.00 h	Cheias:	09.00/14.00 h 20.00/22.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.30 h 13.00/18.30 h 22.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.00 h 14.00/20.00 h 22.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Domingo		Domingo	
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h

## A.2 Consumo energia elétrica do ano 2014 da *KERION Ceramics*

TOTALIZADORES DE CONSUMO									
MÊS	ENERGIA ACTIVA ( kWh )				ENERGIA REACTIVA ( kVar )			POTÊNCIA (kW)	
	Ponta	Cheias	Vazio Normal	Super Vazio	TOTAL kWh	Escalão 1	Escalão 2	Escalão 3	Potência Horas Ponta
JAN	7.979	19.737	3.859	2.368	33.943	1.117	1.089	5.642	72,54
FEV	7.181	18.994	5.722	2.463	34.360	891	796	1.777	71,81
MAR	12.710	32.326	9.096	4.502	58.634	1.059	726	3.673	123,40
ABR	8.563	24.435	6.238	3.077	42.313	521	521	5.631	142,72
MAI	11.949	28.919	7.698	3.568	52.134	1.723	756	5.593	182,00
JUN	11.203	28.507	7.388	3.605	50.703	1.363	659	5.164	187,00
JUL	4.029	8.372	1.588	1.035	15.024	1.240	1.240	7.673	58,00
AGO	5.833	16.499	5.849	2.362	30.543	491	491	4.842	97,00
SET	8.276	19.334	4.490	2.744	34.844	1.214	1.074	3.373	125,00
OUT	12.155	31.182	8.991	4.778	57.106	832	832	4.939	154,00
NOV	8.198	22.017	7.622	3.409	41.246	1.268	972	5.992	82,00
DEZ	7.448	17.804	4.808	3.028	33.088	849	816	4.042	71,00
TOTAIS	105.524	268.126	73.349	36.939	483.938	12.568	9.972	58.341	1.366
									5.580

A.3 Fatura da energia elétrica do ano 2014 da *KERION Ceramics*

TOTALIZADORES DE CONSUMO ( Valores em EUROS )																		
MÊS	ENERGIA ACTIVA				TAXA DE ACESSO ÀS REDES				TOTAIS		ENERGIA REACTIVA			POTÊNCIA		IMPOSTOS		TOTAL FACTURA
	Ponta	Cheias	Vazio Normal	Super Vazio	Ponta	Cheias	Vazio Normal	Super Vazio	ENERGIA MÊS	Escalão 1	Escalão 2	Escalão 3	Potência Horas Ponta	Potência Contratada	ISP	AV		
JAN	587,33	1.359,48	229,46	111,63	269,69	572,37	61,74	36,23	3.227,93 €	9,05	26,79	416,38	662,25	501,64	33,94	2,25	4.880,23 €	
FEV	528,59	1.308,31	340,23	116,11	242,72	550,83	91,55	37,68	3.216,02 €	7,22	19,58	131,14	592,15	453,10	34,36	0,40	4.453,97 €	
MAR	935,58	2.226,61	540,85	214,05	429,60	937,45	145,54	68,88	5.496,73 €	8,58	17,86	271,07	1.126,58	501,64	58,63	2,65	7.483,74 €	
ABR	630,32	1.683,08	370,91	145,05	286,86	711,06	101,06	48,00	3.976,34 €	4,22	12,82	415,57	1.260,93	485,46	42,31	2,65	6.200,30 €	
MAI	846,07	1.991,94	457,72	168,20	385,05	841,54	124,71	55,66	4.870,89 €	13,96	18,60	412,76	1.665,59	501,64	51,68	2,65	7.537,77 €	
JUN	824,65	1.963,56	439,29	169,94	375,30	829,55	119,69	56,24	4.778,22 €	11,04	16,21	381,10	1.649,67	485,46	50,70	2,65	7.375,05 €	
JUL	296,57	576,66	94,42	48,79	134,97	243,63	25,73	16,15	1.436,92 €	10,04	30,50	566,27	533,07	501,64	15,02	2,65	3.096,11 €	
AGO	429,37	1.136,45	347,78	111,34	195,41	480,12	94,75	36,85	2.832,07 €	3,98	12,08	357,34	887,57	501,64	30,54	2,65	4.627,87 €	
SET	609,20	1.331,73	266,98	129,35	277,25	562,62	72,74	42,81	3.292,68 €	9,83	26,42	248,93	1.107,82	485,46	34,84	2,65	5.208,63 €	
OUT	894,73	2.147,82	534,60	225,23	410,84	904,28	143,86	73,10	5.334,46 €	6,74	20,47	364,50	1.404,66	501,64	57,11	2,65	7.692,23 €	
NOV	603,45	1.516,53	453,20	160,70	277,09	638,49	121,95	52,16	3.823,57 €	10,27	23,91	442,21	724,29	485,46	41,25	-	5.550,96 €	
DEZ	505,79	1.113,82	253,57	136,05	251,74	516,32	76,93	46,33	2.900,55 €	6,88	20,07	298,30	647,56	501,64	33,09	-	4.408,09 €	
TOTAIS:	7.691,65	18.355,99	4.329,01	1.734,61	3.536,52	7.788,26	1.180,25	570,09	45.186,38 €	101,81	245,31	4.305,57	12.262,14	5.906,42	483,47	23,85	68.514,95 €	

## A.4 Taxas de acesso à rede em Média Tensão

TARIFA DE ACESSO ÀS REDES EM MT		PREÇOS	
Potência		(EUR/kW.mês)	(EUR/kW.dia)*
	Horas de ponta	8,958	0,2945
	Contratada	1,058	0,0348
Energia ativa		(EUR/kWh)	
Períodos I, IV	Horas de ponta	0,0338	
	Horas cheias	0,0290	
	Horas de vazio normal	0,0160	
	Horas de super vazio	0,0153	
Períodos II, III	Horas de ponta	0,0335	
	Horas cheias	0,0291	
	Horas de vazio normal	0,0162	
	Horas de super vazio	0,0156	
Energia reativa		(EUR/kvarh)	
	Fornecida	0,0246	
	Recebida	0,0185	

\* RRC art. 220.º, n.º 3

2015	Frederico Fragoso	Contratos Bilaterais em Mercados de Energia Elétrica Multiagente: Protocolo de Rede de Contratos	
------	-------------------	--	--

